



تحلیل پویایی سیستم

روش برای مدلسازی سیستمهای پیچیده

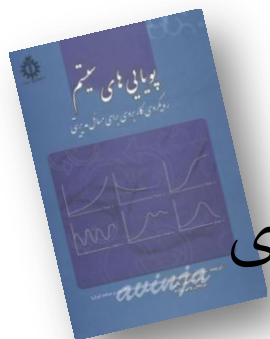
دکتر صالحی

مراجع

■ پویایی شناسی سیستم - جان د.استرمن (ترجمه شهرام میرزایی)

■ پویایی های سیستم - سوشیل (ترجمه ابراهیم تیموری)

■ سیستم داینامیک (کاربردی از تفکر سیستمی) - شهلا قبادی



سیاست ارزشیابی

۵ نمره تا ۷ نمره

۳ نمره

۱۲ نمره

• پروژه

• تمرین

• پایان ترم

سرفصل مطالب

عنوان	هفته
مقدمه و ضرورت پویایی سیستم	اول و دوم
پویایی شناسی سیستم در عمل	سوم و چهارم
مدلسازی و رفتار سیستم های پویا	پنجم
نمودارهای علی حلقوی	ششم و هفتم
انباشت ها و جریان ها	هشتم و نهم
امتحان میانترم-تأخیر در سیستم	دهم
مسائل کاربردی	یازدهم و الی آخر

پروژه و گزارش آن

- انتخاب یک موضوع و اعمال متدولوژی پویایی سیستم و شرح آن در کلاس و یا انجام یک پروژه تحقیقاتی
- پروژه را می توانید به صورت یک یا دو نفره انجام دهید.
- دو نمره نیز به صورت مازاد برای پروژه های برتر در نظر گرفته می شود.

تاریخ های مهم

زمان	مسئولیت
15/7/93	تعیین اعضای گروه و موضوع ارائه
1/9/93	ارائه گزارشات شفاهی پروژه های انتخاب شده
تمرین تحویلی چهار بار در طول ترم	

فصل اول:

مدلسازی در پویایی سیستم

سیستم چیست؟

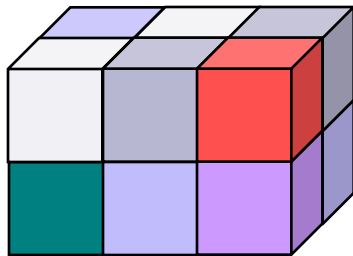
سیستم: مجموعه‌ای که برابر با جمع اجزای خود نیست و به همین دلیل باید به عنوان یک کل مد نظر قرار گیرد.

به همین دلیل تقسیم دنیا به اجزای کوچکتر و بررسی هر قسمت در محدوده خود و در نظرنگرفتن روابط آن با اجزای دیگر موجب گمراهی می‌گردد.

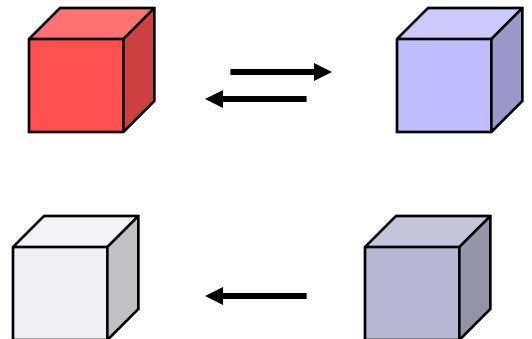
دیدگاه سیستمی یکی از دیدگاهها و منظرها، برای فهم عالم است.

سیستم با ارتباطات پیچیده

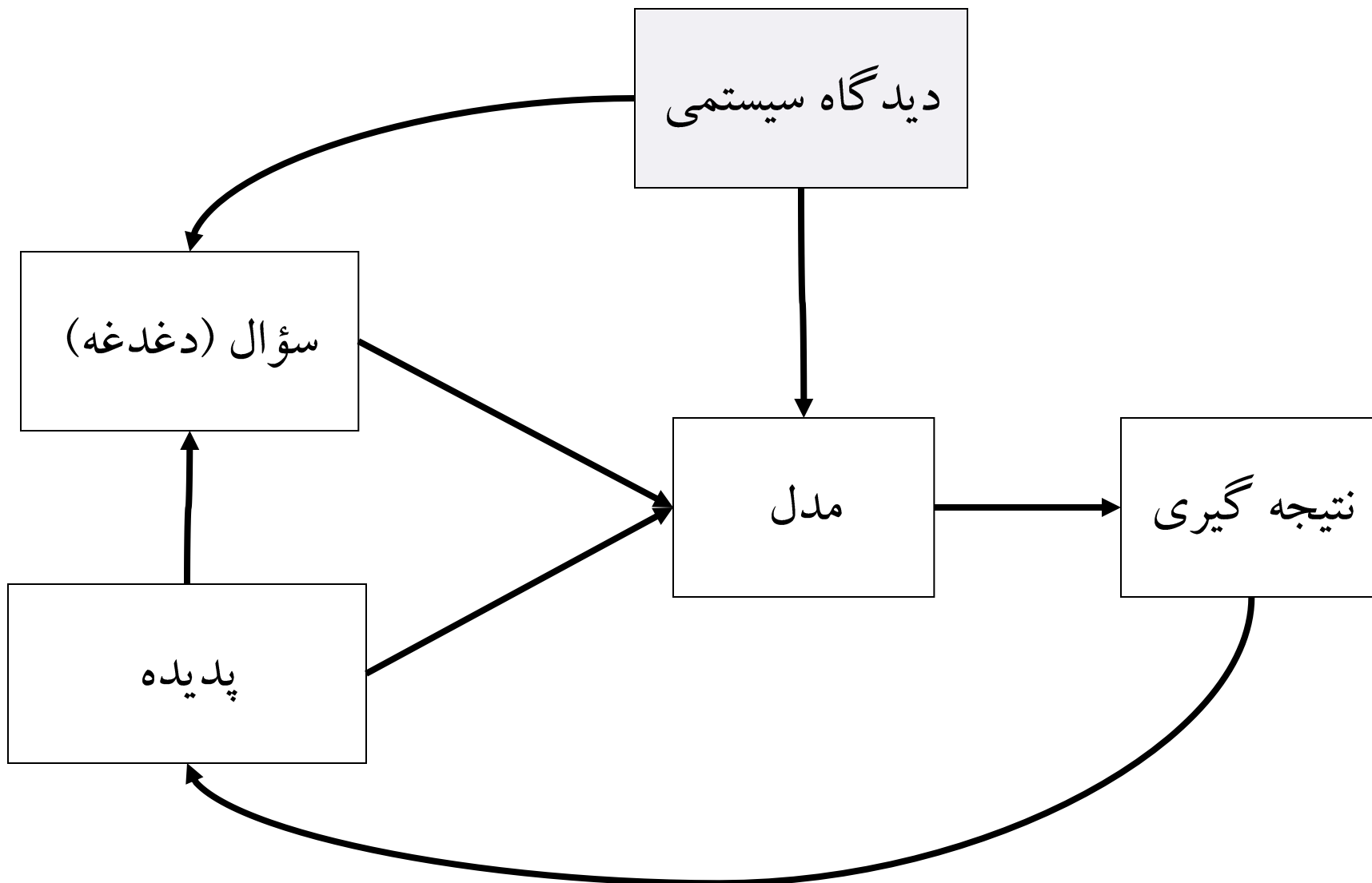
■ علوم معمولاً ارتباط دو طرفه اجزاء را با نوعی ساده انگاری به دست می آورند. بدین صورت که فرض می کنند سایر اجزا ثابت بوده و ارتباط بین دو عنصر را بررسی می کنند. در یک سیستم که اجزاء ارتباط متقابل دارند این فرض، درست نمی باشد و به همین دلیل اقدامات فوق کافی نیست.



$f(parts + feedback)$



فرآیند مدل سازی



مدلسازی

مدل: مدل **تصویر ساده شده** ای از **جهان واقعی** است که در حد فهم سازنده آن از واقعیت شکل می گیرد.

مهمترین هدف از مدلسازی، کسب دانش در مورد رفتار سیستم واقعی است. در واقع مدل ابزار مناسبی برای بررسی تصمیمات مختلف و آثار و نتایج حاصل از آنها می باشد.

مدلسازی

معیارهای طبقه بندی مدل ها

■ بر اساس نحوه مدلسازی

- **مادی** - استفاده در علوم تجربی
- **ذهنی** - استفاده در علوم اقتصادی و اجتماعی - پایه ای برای مدل‌های ریاضی
- **تشریحی** - علوم اجتماعی و سیاسی
- **ریاضی** - تعریف دقیق رابطه بین عوامل با استفاده از پارامترها

■ بر اساس محتوا

- **علی** - مدل‌هایی مفهومی هستند که روابط درون سیستم را به صورت علی و معلولی بیان می کنند.
- **توصیفی** - مدل‌هایی که روابط بین پدیده ها را به صورت تجربی بیان می کنند.

■ بر اساس نوع کاربرد

- **شبیه سازی** - برای درک رفتار سیستم با هدفی مشخص بر اساس روند گذشته مدل می شود.
- **بهینه یابی** - حالت مطلوب در سیستم در شرایطی مشخص با توجه به هدف تعیین شده مشخص می شود.

■ بر اساس درجه قطعیت پارامترها

- **قطعی** - در یک مدل قطعی، متوسط رفتار متغیرها در مشاهدات مختلف، مدل می شود.
- **تصادفی** - ساخت مدل بر پایه داده هایی با یک توزیع احتمال مشخص می باشند.

■ بر اساس برخورد با زمان

- **ایستا** - تصویری از سیستم واقعی در یک نقطه زمانی تهیه می شود
- **پویا** - تغییرات سیستم در طول زمان و با کمک معادلات دیفرانسیلی یا معادلات تفاضلی بررسی می شود.

تکنیکهای مدلسازی

■ اقتصادسنجی: این روش که بر پایه آمار بنا شده است رابطه میان متغیر وابسته و متغیر

$$Y = F(x) + u$$

مستقل را بیان می کند.

■ آنالیز سری های زمانی و روندها: این روش نیز متکی بر آمار می باشد و روند

متغیرها را در بستر زمان با چهار جزء روند، فصلی، چرخه اقتصادی و تصادفی مورد بررسی قرار می دهد.

$$Y_t = f(t)$$

■ آنالیز داده - ستاده: شامل معادلات همزمان دیفرانسیل و یا تفاضلی می باشد که سطوح

تعادل همه صنایع را نشان می دهد. به طوریکه میتوان با فرضهای خاص اقتصادی مکمل، پویایی را وارد معادلات کرد.

■ برنامه ریزی ریاضی: شامل یافتن نقطه بهینه بر اساس یک تابع هدف می باشد که در

این تابع متغیر وابسته بوده و متغیرهای مستقل تعیین کننده مقدار تابع هدف می باشند.

$$\max \quad w = f(x, y)$$

$$\text{subject to} \quad g(x, y) = c$$

$$x, y \geq 0$$

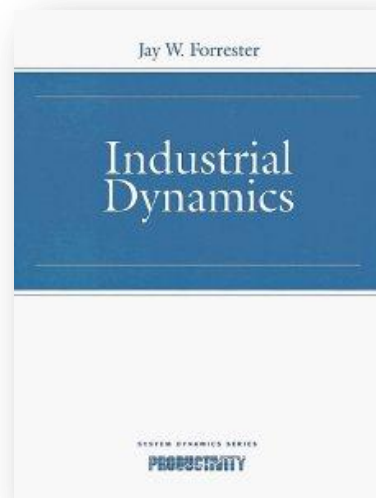
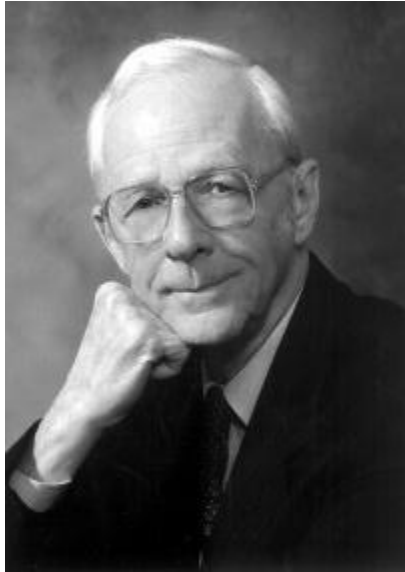
تکنیکهای مدلسازی

■ برنامه ریزی پویا: یک روش ریاضی است که برای بهینه یابی فرآیندهای چند مرحله ای که امکان شکستن تصمیمات به اجزاء کوچکتر و ترکیب دوباره تصمیمات اخیر در فرم جدید برای رسیدن به جواب مطلوب را فراهم می کند.

■ سیستم دینامیک: این روش بر پایه ساختار **مدارکنترلی** بنا شده است و امکان مطالعه **ساختار و رفتار** سیستم های پیچیده **اقتصادی، اجتماعی، زیستی و فنی** را فراهم می کند. در این روش سیستمهای پیچیده واقعی توسط **بازخوردهای متعدد، تأخیر زمانی، ذخیره سازی و از طریق معادلات دیفرانسیل** مربوط به هم توصیف می شوند. هدف سیستمهای پویا، پیش بینی کمی آینده نیست بلکه به دنبال دست یافتن به دانش وسیع در مورد ارتباطات دینامیکی متقابل میان سیستم های اجتماعی، اقتصادی، زیستی و فنی می باشد.

تکنیک سیستم دینامیک از نوع مدلهای شبیه سازی است.

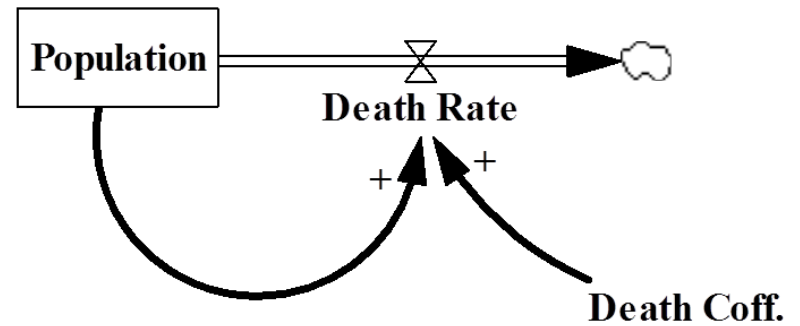
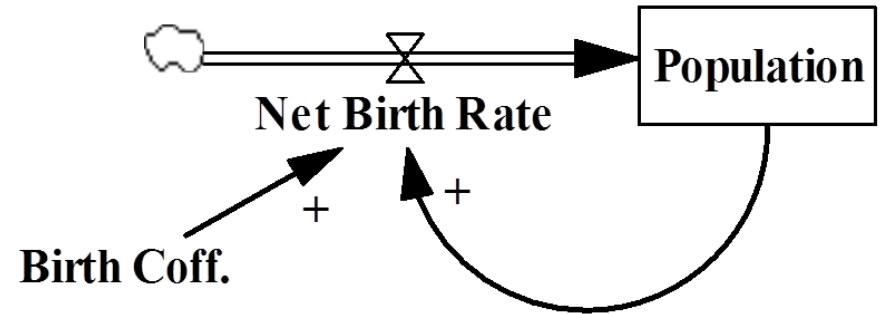
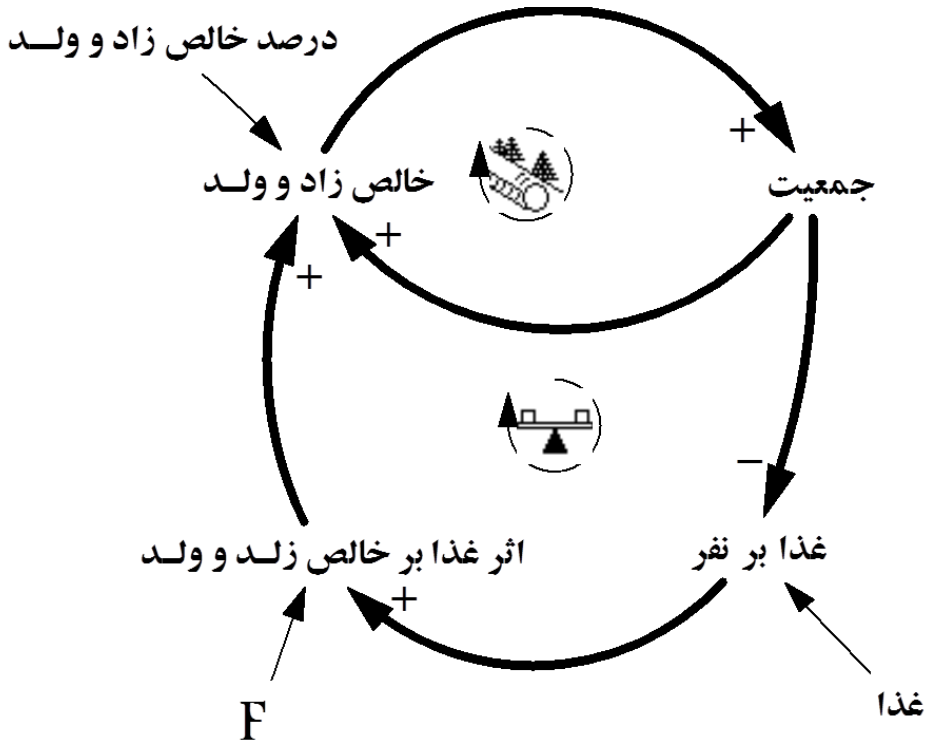
SD چیست؟



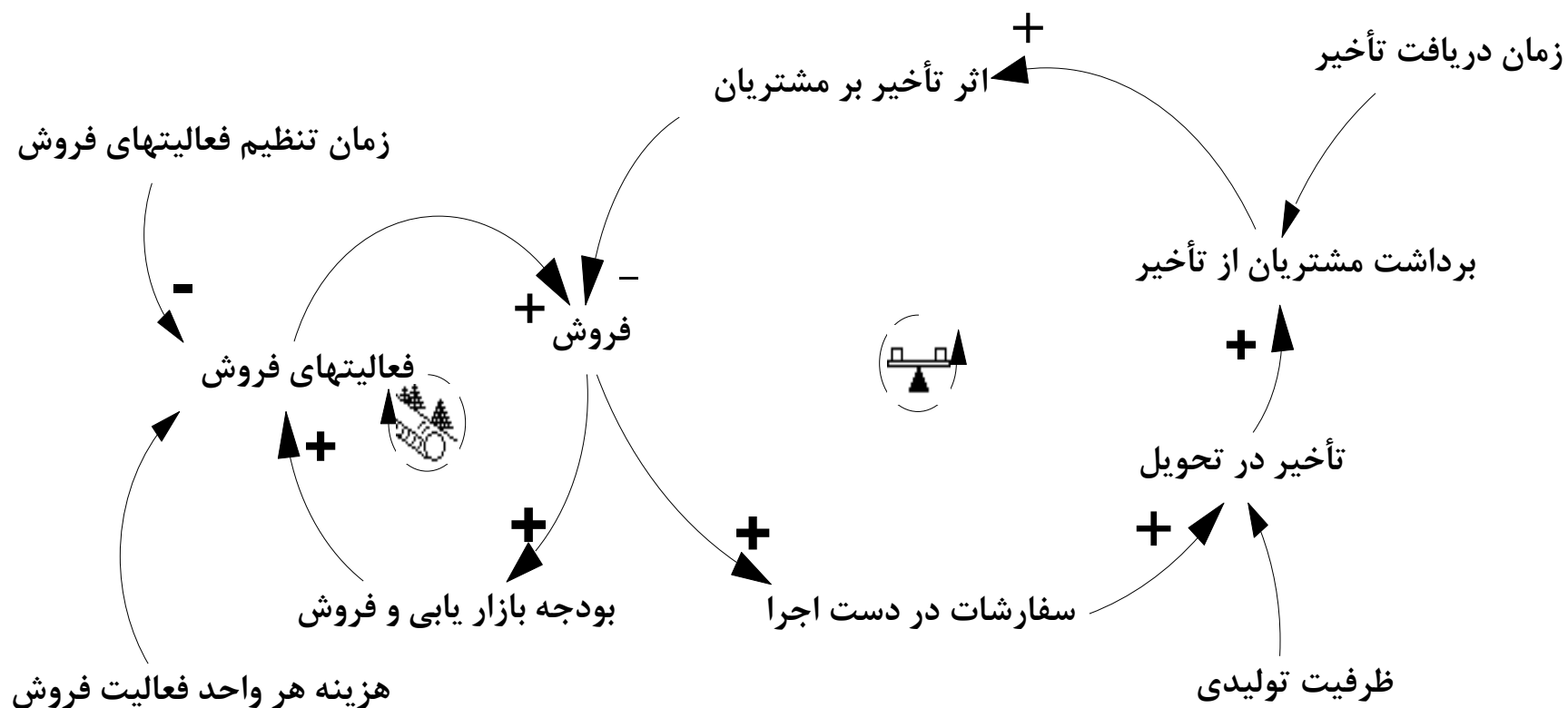
- دینامیک های سیستم (System Dynamics) یکی از دیدهای سیستمیک می باشد.

- این روش حدود 40 سال پیش در دانشگاه MIT توسط آقای فارستر ابداع گردید.

مثال ساده



مثال ساده



فصل دوم:

ساختار و رفتار سیستمهای پویا

مقدمه

■ **بازخورد:** یکی از مفاهیم اساسی در تفکر سیستمی، وجود فیدبک در سیستم است. فیدبک همراه با خصوصیت پویایی رفتار سیستم را می سازد.

■ **مدل ذهنی:** اصطلاح مدل ذهنی باور ما درباره شبکه ای از علت ها و معلول هاست و چگونگی عملکرد سیستم را توضیح می دهد.

■ **مرز مدل:** مشخص کننده متغیرهای تأثیر گذار و بی تأثیر

■ **افق زمانی:** مدت زمانی که علاقمند به تحلیل سیستم خاص هستیم.

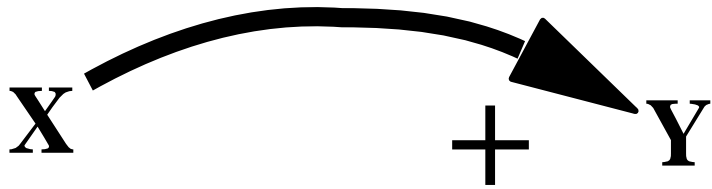
دیاگرام علی-معلولی

■ علت اطلاق نام علی-معلولی بر این روش، این است که در نمودار علی-معلولی تاثیر یک جزء از سیستم بررسی می شود با این فرض که سایر اجزای سیستم ثابت بماند.

■ بنابراین در دیاگرام علی-معلولی، تنها ساختار ارتباطی بین اجزاء ترسیم می شود و از دیاگرام علی-معلولی برای درک بهتر ساختار سیستم استفاده می شود، نه برای نمایش رفتار سیستم.

علائم دیاگرام علی-معلولی

1. لینک مثبت:



با فرض ثابت بودن بقیه متغیرها،
اگر متغیر X افزایش (کاهش)
داشته باشد، متغیر Y بیشتر (کمتر)
از مقداری که داشته است، خواهد
شد.

$$\partial Y / \partial X > 0$$

مفهوم ریاضی:

علائم دیاگرام علی-معلولی (ادامه)

عرضه $+$ قیمت

جریان $+$ اختلاف پتانسیل

نیروی شاغل $+$ عدم بازنشستگی

علائم دیاگرام علی-معلولی (ادامه)

2. لینک منفی:

با فرض ثابت بودن بقیه متغیرها، اگر متغیر X افزایش (کاهش) داشته باشد، متغیر Y کمتر (بیشتر) از مقداری که داشته است، خواهد شد.

$$\partial Y / \partial X < 0$$

مفهوم ریاضی:

اهمیت نمودارهای علی حلقوی

- ابزای مهم در نمایش ساختار بازخوردی سیستم ها محسوب می شوند.
- دلیل به دست آوردن فرضیه های شما در مورد علل پویایی
- استخراج و ایجاد مدل های ذهنی افراد یا تیم ها
- ارتباط دادن بازخوردهای مهمی که فکر می کنید علت یا مسبب بروز مسئله هستند.

نمادسازی نمودارهای علی حلقوی

- متغیرها توسط ارتباط های علی که با خطوط جهت دار نشان داده می شود به هم مرتبط می گردند.
- این علامت ها نشان دهنده ی این هستند که وقتی متغیر مستقل تغییر می یابد در اثر آن در متغیر وابسته چه تغییری رخ می دهد.
- توجه کنید که نشانگر حلقه در همان جهتی که خود حلقه می چرخد دور می زند.

نمادسازی نمودارهای علی حلقوی

- یک ارتباط + به این معناست که وقتی افزایشی/کاهشی در یک علت رخ می‌دهد آن گاه معلول نیز بیشتر/کمتر از آنچه که قبلاً بوده است، افزایش/کاهش می‌یابد.
- یک ارتباط منفی بدین معناست که در صورت افزایش علت معلول از مقداری که باید باشد، کاهش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد معلول از مقداری که باید باشد، فراتر رفته و افزایش می‌یابد.
- در واقع نمودار علی به شما آنچه را که رخ داده است نشان نمی‌دهد، بلکه بیانگر این خواهد بود که اگر متغیر تغییر کند، چه اتفاقی می‌افتد.

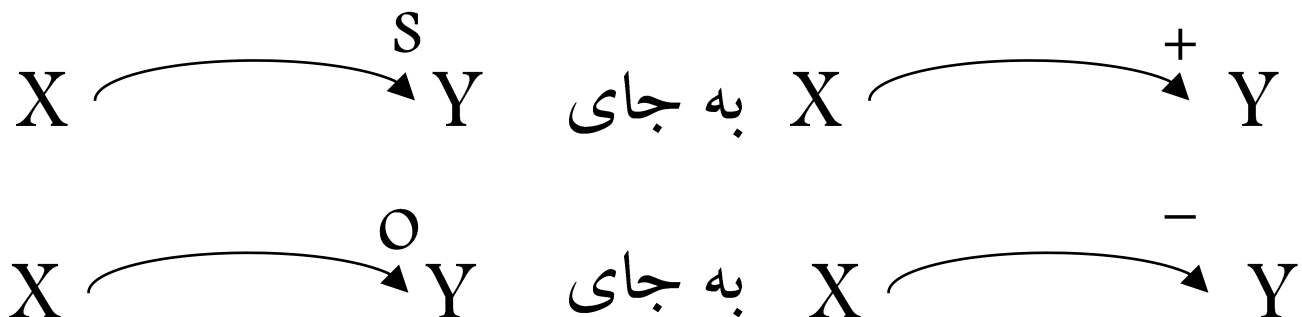
مطالبی در مورد نمادسازی

• قطبیت هر ارتباط علی به جای علامت های + یا - با حروف S

یا O مشخص شده بود. (ارتباط همسو یا مخالف)

- ارتباط نشان داده شده با S به معنای این است که X و Y

در یک راستا حرکت می کنند.

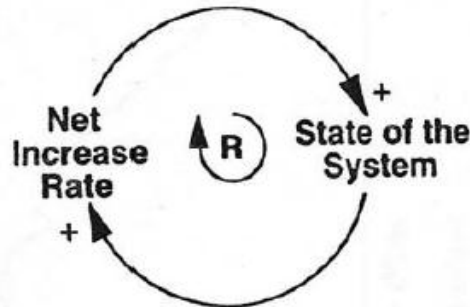
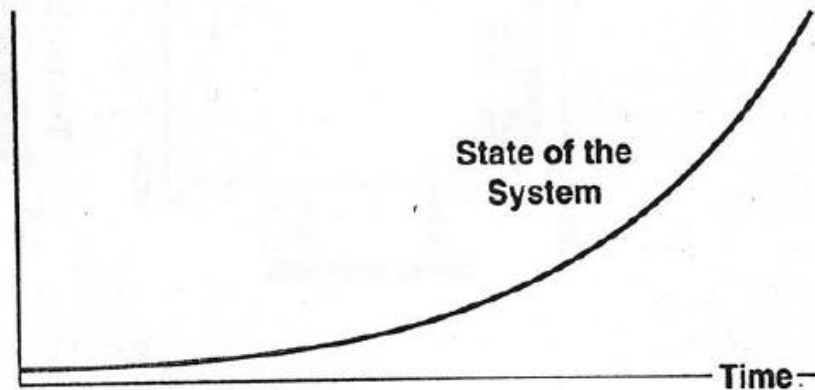


الگوهای اولیه رفتاری

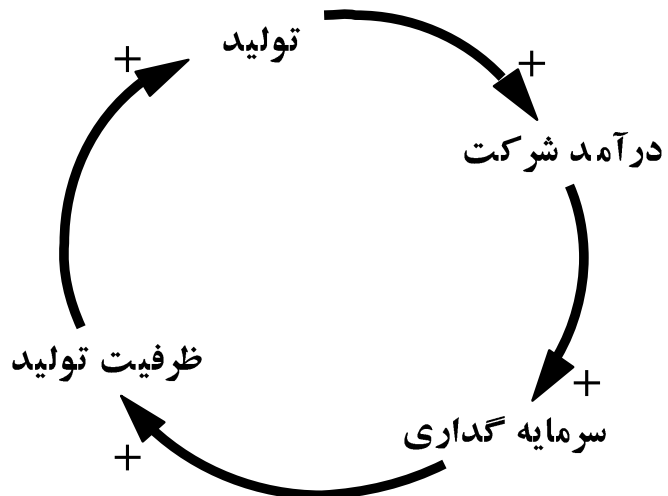
- الگوهای اولیه رفتار در سیستم های پویا توسط ساختارهای بازخورد به وجود آمده سیستم شناخته می شود.
- در این فصل مفهوم الگوهای مرجع برای شرح رفتار پویا و نمودارهای علی حلقوی بعنوان روشی برای نمایش ساختار بازخورد را توضیح خواهیم داد.
- اکثر پویایی ها نمونه هایی معین از الگوهای کوچک مجزا رفتاری همچون رشد نمایی یا نوسانی می باشند.
- هر یک از این رفتارها با یک یا چند حلقه بازخوردی ایجاد می شوند.

رفتارهای مرسوم (1. رشد)

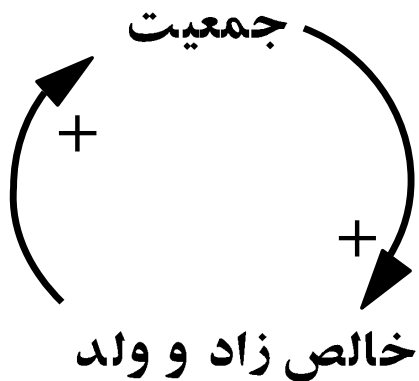
تقریباً رشد و افزایش متغیر حالت در همه سیستمها وجود دارد. در یک رشد نمایی مدت زمان لازم برای دو برابر شدن متغیر ثابت است. ساده ترین مدل رشد، حلقه فیدبک مثبت درجه ۱ است.



رفتار رشد

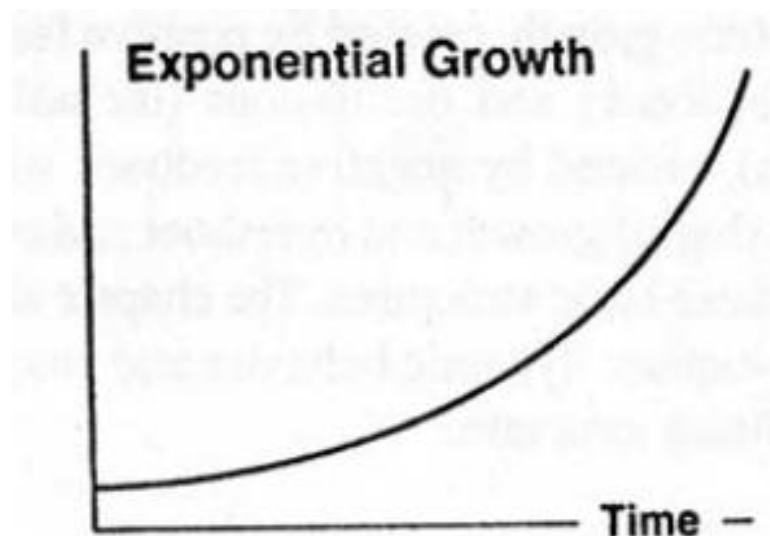


■ ساده ترین مدل رشد اقتصادی:



■ مدل رشد جمعیت:

- رشد نمایی از بازخورد مثبت (خودتقویت کننده) ناشی می شود.
- افزایش در کمیت، مقدار خالص آن را بیشتر افزایش می دهد و افزایش در کمیت منجر به رشد سریعتری می شود.
- ابتدای نمودار خطی به نظر می رسد در حالی که رشد به صورت نمایی است.



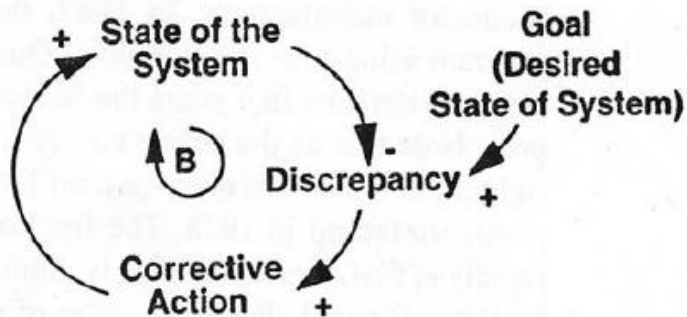
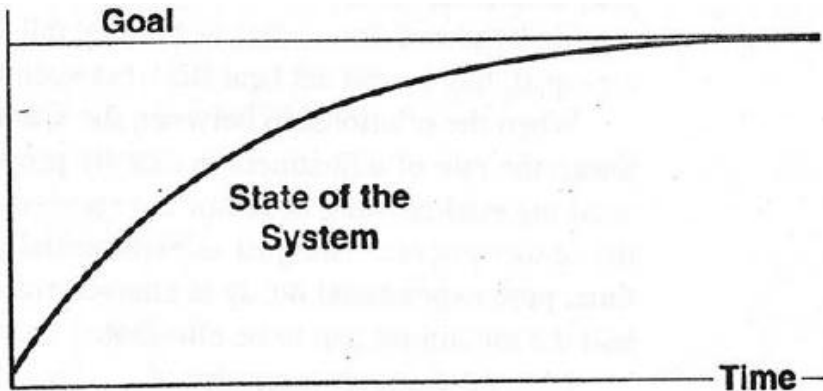
- با سرمایه‌گذاری بیشتر، بهره بیشتری کسب می‌شود. بنابراین تراز پولی شما بالا می‌رود و تراز پولی بدست آمده باعث بهره بیشتر بعدی خواهد شد که همچنان ادامه دارد.
- افزایش جمعیت، باعث افزایش نرخ خالص تولد شده که باعث بیشتر شدن جمعیت می‌شود و این خود تولدهای بیشتر را باعث می‌شود.

- بازخورد مثبت همیشه به رشد فزاینده نیاز ندارد، همچنین می‌تواند کاهش خود تقویت کننده ایجاد کند.
- به عنوان مثال وقتی قیمت سهام کاهش پیدا می‌کند، اعتماد سرمایه گذاران پایین می‌آید و آنان به فروش بیشتر روی می‌آورند، قیمت پایین آمده و اعتماد همچنان کاهش می‌یابد.

- عامل سنجش میزان رشد نمایی، مدت زمان دو برابر شدن است.
- در مورد فرآیندهای مختلف متفاوت است.
- این سیستم‌ها روند شتاب به وجود آمده از بازخوردهای مثبت را نشان می‌دهد.

2. رفتار هدف جو

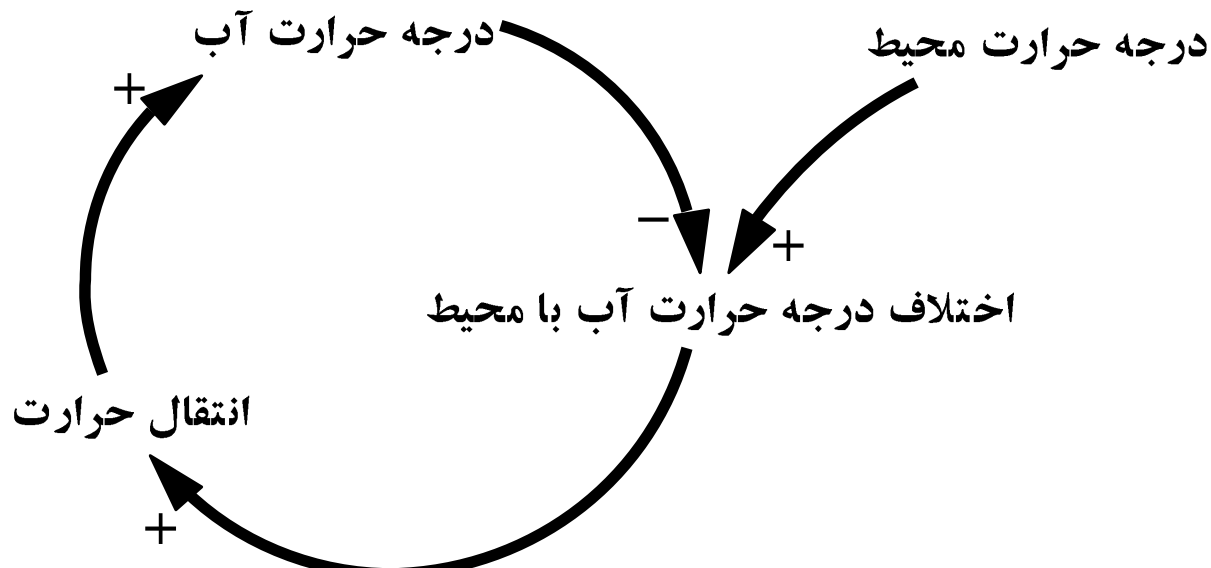
■ در رفتار هدف جو، سیستم هدف مشخصی را تعقیب می کند و نحوه رسیدن به این هدف در ساده ترین حالت به صورت تابع نمایی می باشد. ساده ترین مدل برای رفتار هدف جو حلقه فیدبک منفی **درجه یک** است.



رفتار هدف جو (ادامه)

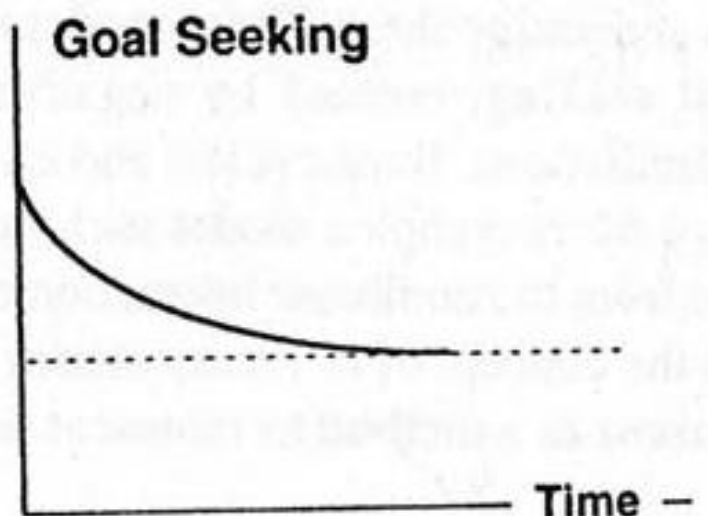
■ در مدار RC، تغییرات ولتاژ خازن منحنی نمایی با توان منفی است. منحنی ولتاژ خازن، هدف رسیدن به سطح ولتاژ معینی را تعقیب می‌کند و بنابراین رفتار ولتاژ خازن، هدف جو است.

■ تغییرات دمای لیوان آب:



هدف جو

- حلقه های بازخورد مثبت، باعث ایجاد رشد، توسعه، انحراف و تقویت تغییر می‌شوند.
- حلقه های منفی به دنبال تعادل، توازن و ثبات هستند.
- حلقه های بازخورد منفی، سطح سیستم را در وضعیت مطلوب یا هدف نگه می‌دارد.



رفتار هدف جو (ادامه)

■ در برخی مواقع مقدار هدف روشن و تحت کنترل تصمیم گیر است مانند سطح مطلوب موجودی و در برخی مواقع شفاف و تحت کنترل آگاهانه نیست مانند میزان استراحت مورد نیاز جهت رفع خستگی

■ **بازخورد منفی** سعی در ایجاد **تعادل** در سیستم و رساندن **متغیر حالت** آن به یک **مقدار مطلوب** دارد. در رفتار هدفجو مقدار فعلی متغیر حالت با مقدار مطلوب مقایسه شده و در صورت اختلاف، سیستم به گونه ای عمل می کند که اختلاف فوق رفع گردد.

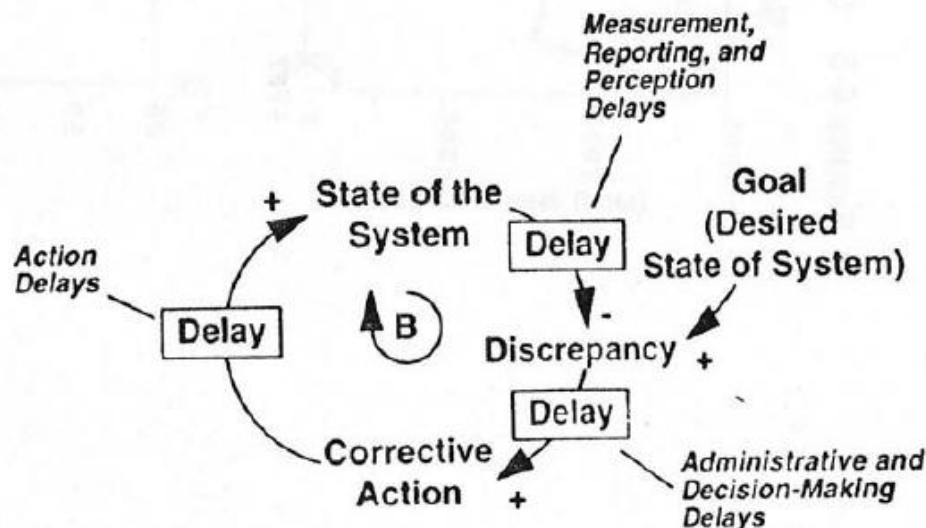
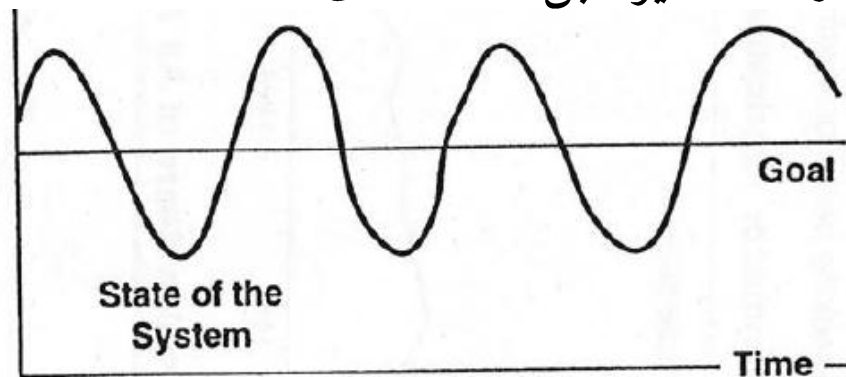
رفتار هدف جو (ادامه)

- در این حالت میزان تغییرات سیستم تابعی خطی از اختلاف وضعیت سیستم با مقدار مطلوب است. در رفتار هدفجو نیز مانند رفتار رشد نمایی مدت زمان لازم برای نصف شدن یا دو برابر شدن متغیر حالت همواره در هر نقطه از منحنی ثابت است.

3. رفتار نوسانی

مانند رفتار هدفجو از یک بازخورد منفی حاصل می شود. با این تفاوت که این

بازخورد منفی دارای زمان تأخیر قابل ملاحظه ای است.

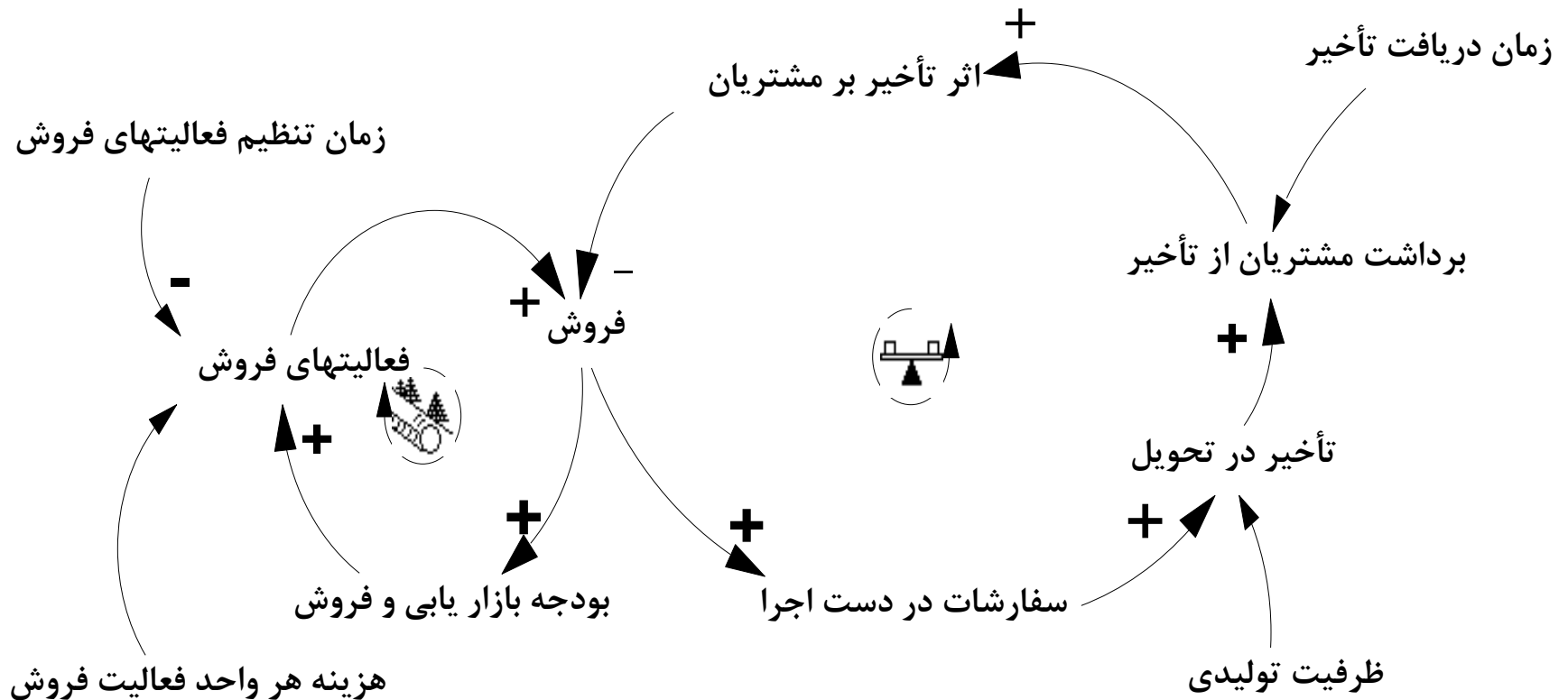


رفتار نوسانی (ادامه)

- علت رفتار نوسانی بدین ترتیب است که بدلیل وجود تأخیر در قسمتهای مختلف بازخورد نظیر **تأخیر در دریافت اطلاعات درباره وضعیت فعلی متغیر حالت** و **یا تأخیر در اعمال تصمیمات در سیستم**، مقدار متغیر بیش از حالت تعادل می شود سپس تصمیم اتخاذ شده اعمال شده و مقدار متغیر را بیش از مقدار تعادل کاهش می دهد بنابراین **با تأخیر وضعیت فوق درک شده و در نتیجه تصمیم دیگری مبنی بر افزایش مقدار متغیر اتخاذ می شود و به همین ترتیب این چرخه تکرار می شود.**

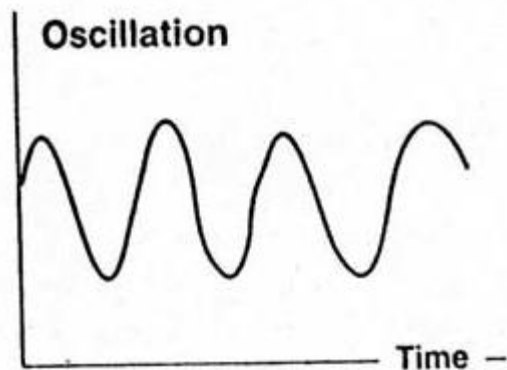
رفتار نوسانی (ادامه)

رشد فروش با ظرفیت محدود:



نوسان

- نوسان ها به مانند رفتار هدف جو، توسط حلقه های بازخورد منفی ایجاد می شوند.
- سطح سیستم نسبت به هدف خود مقایسه می شود و اقدام های اصلاحی به منظور حذف اختلافات اعمال می گردند.
- در یک سیستم نوسانی، سطح سیستم دائما به سمت هدف یا سطح تعادل جهش می کند، سپس به طور معکوس به سمت پایین هدف جهش می کند و الی آخر.



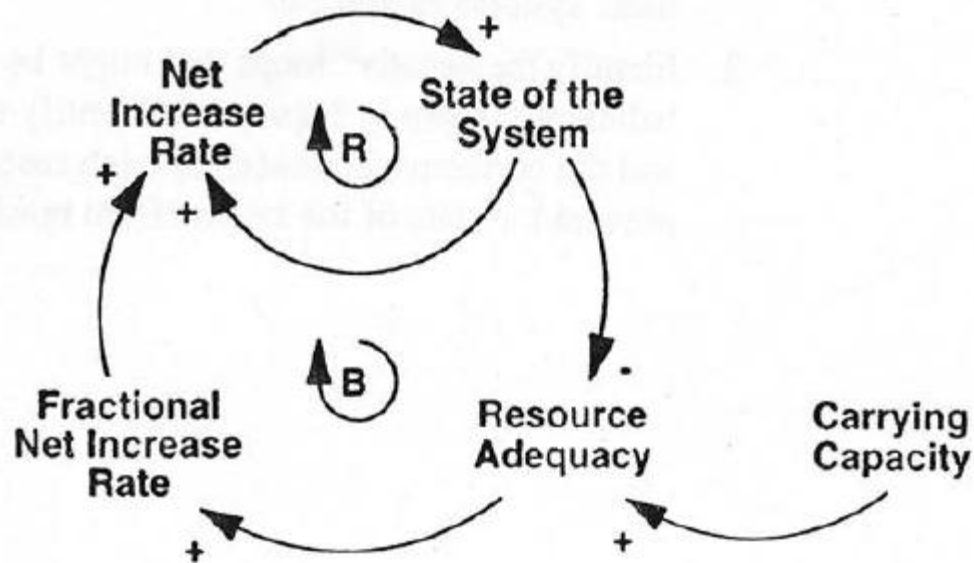
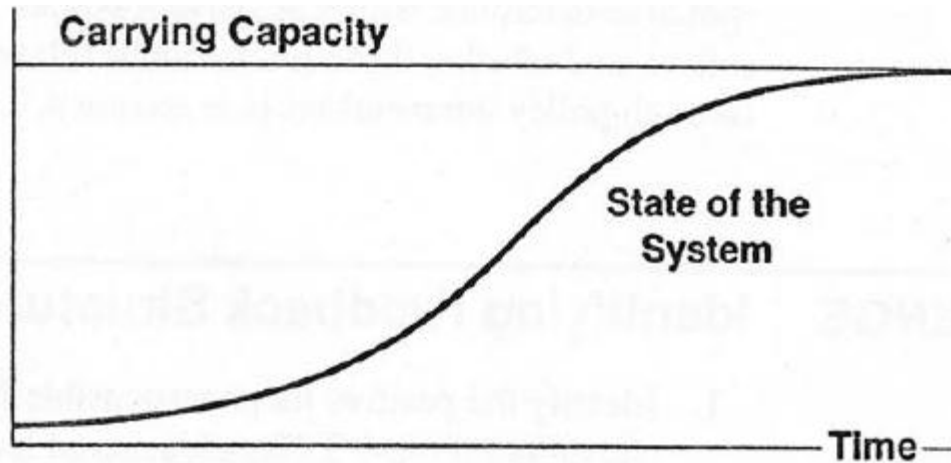
رابطه رفتار و ساختار

- وجود ارتباط بین ساختار و رفتار ما را در شناخت ساختار سیستمها با مشاهده رفتار آنها کمک می کند.
- به عنوان مثال با مشاهده رفتار رشد نمایی در سیستم می توان نتیجه گرفت که در سیستم فوق حداقل یک بازخورد مثبت وجود دارد. البته امکان وجود بازخورد منفی نیز است ولی بازخورد غالب در این سیستم بازخورد مثبت است.
- با یقین نمی توان در رابطه با میزان تأثیر هر یک از حلقه های بازخوردی اظهار نظر نمود مگر در صورت وجود داده های مناسب و یا مدل شبیه سازی شده.

4. رفتار S شکل یا لوجستیکی

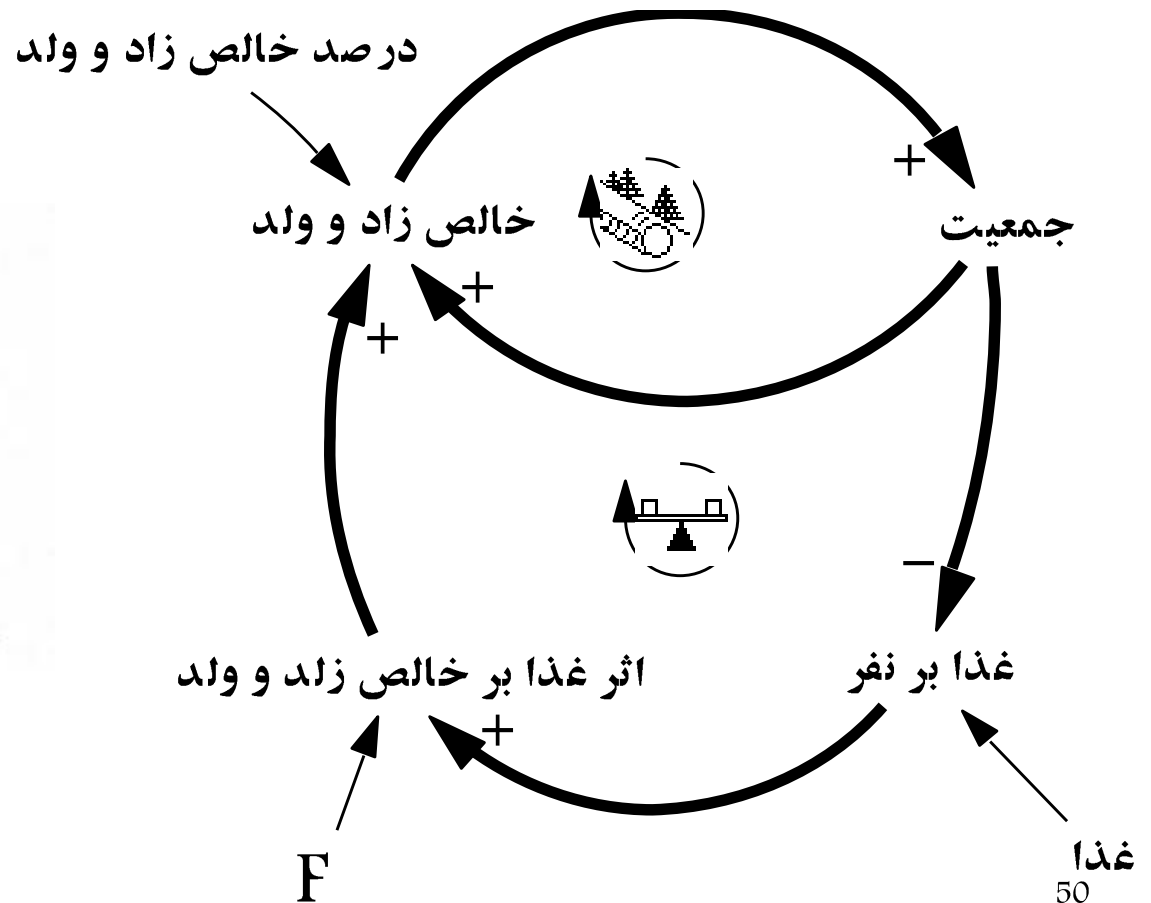
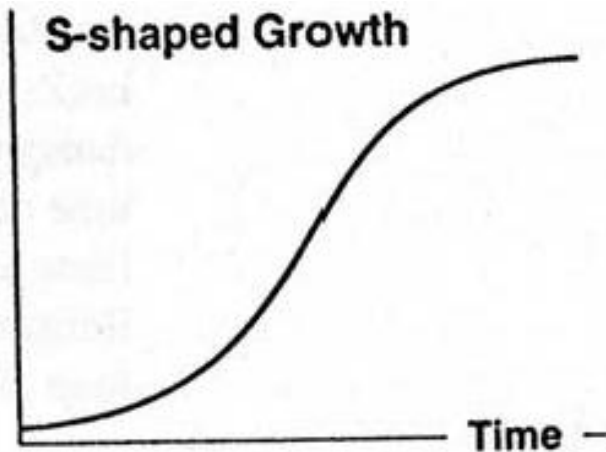
- سه رفتار پایه رشد نمایی، هدفجو و نوسانی بواسطه سه ساختار ساده بازخورد مثبت، منفی و منفی همراه با تأخیر صورت می گیرد. سایر رفتارهای پیچیده از ترکیب غیرخطی بین سه ساختار ساده فوق تشکیل شده است.
- هیچ فرآیندی نیست که تا بی نهایت به رشد خود ادامه دهد، بدون آنکه با عوامل محدود کننده ای مواجه نباشد. مکانیزم کلی محدود کننده رشد یک پس خوران منفی است. اگر محدودیت بدون تأخیر اثر بگذارد در آن صورت رشد به صورت منحنی لجستیک خواهد شد.

رفتار لجستیکی (ادامه)

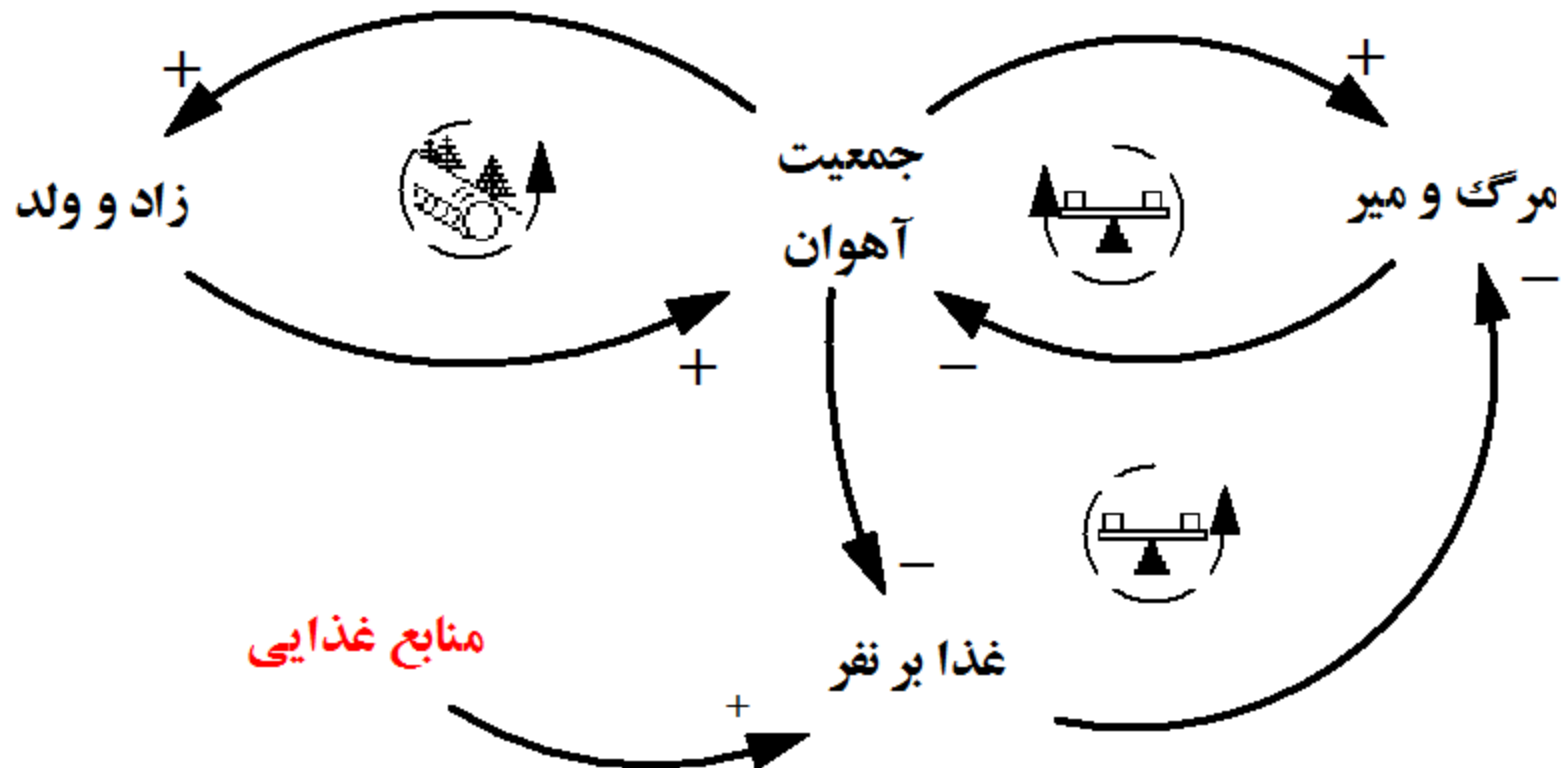


رفتار لجستیکی (ادامه)

محدودیت رشد جمعیت:



محدودیت رشد جمعیت آهوان:



رشد S شکل

- برای درک ساختار S شکل استفاده از مفهوم زیست محیطی ظرفیت انتقال مفید است.
- ظرفیت انتقال هر زیستگاهی تعداد موجودات از نوع خاصی است که می‌توان پشتیبانی کرد و به وسیله‌ی منابع در دسترس محیط و منبع نیازمندی‌های جمعیت به دست می‌آید.

رشد S شکل

- همچنان که این جمعیت به ظرفیت انتقال خود نزدیک می‌شود منابع سرانه نابود می‌شود و متعاقب آن نرخ نسبی رشد خالص کاهش می‌یابد تا زمانی که منابع سرانه کافی برای توازن بخشیدن به مرگ و میرها و زاد و ولدها وجود داشته باشد که در این نقطه رشد خالص صفر است و جمعیت به توازن می‌رسد.

رشد S شکل

- تمام سازمان‌ها و شرکت‌ها در بافت بازار، جامعه و محیط فیزیکی رشد می‌کنند که این خود محدودیت‌هایی برای رشد آنها تحمیل می‌کند.
- وقتی یک سیستم رشد S شکل را ایجاد می‌کند که فقط دو شرط اساسی را داشته باشد:
 - حلقه‌های بازخورد منفی نباید شامل تاخیر زمانی معناداری باشد.
 - ظرفیت انتقال باید ثابت باشد.

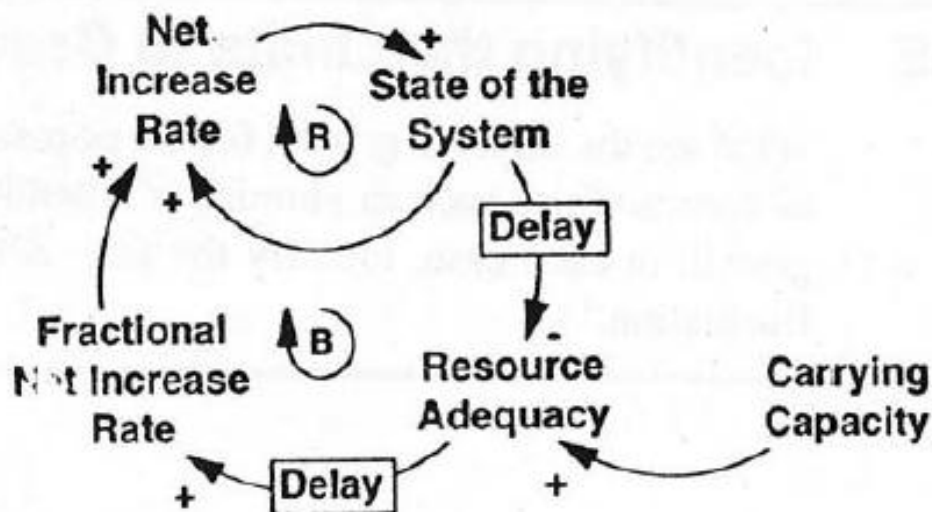
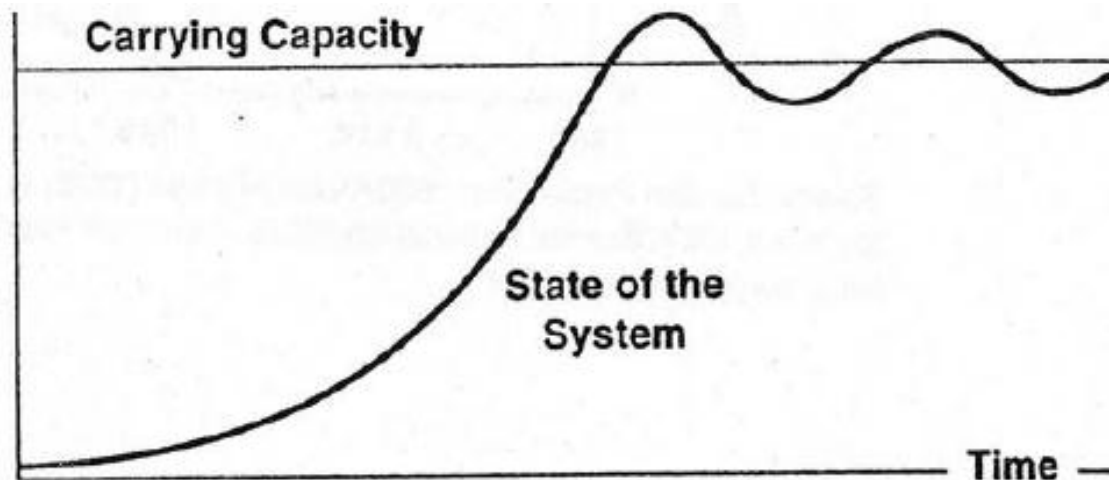
رشد S شکل

- یک جنبه کلیدی ایجاد ساختار رشد S شکل، این است که تعامل بین حلقه‌های مثبت و منفی غیرخطی باشند.
- نقطه عطف در منحنی، نقطه‌ای است که سیستم هنوز در حال رشد است. از حالت شتابان به حالت نزولی تغییر مسیر می‌دهد. نقطه‌ی عطف نشانگر نقطه‌ای است که تغییر در حلقه حاکم به وجود آمده است.

5. رشد S شکل همراه با Overshoot

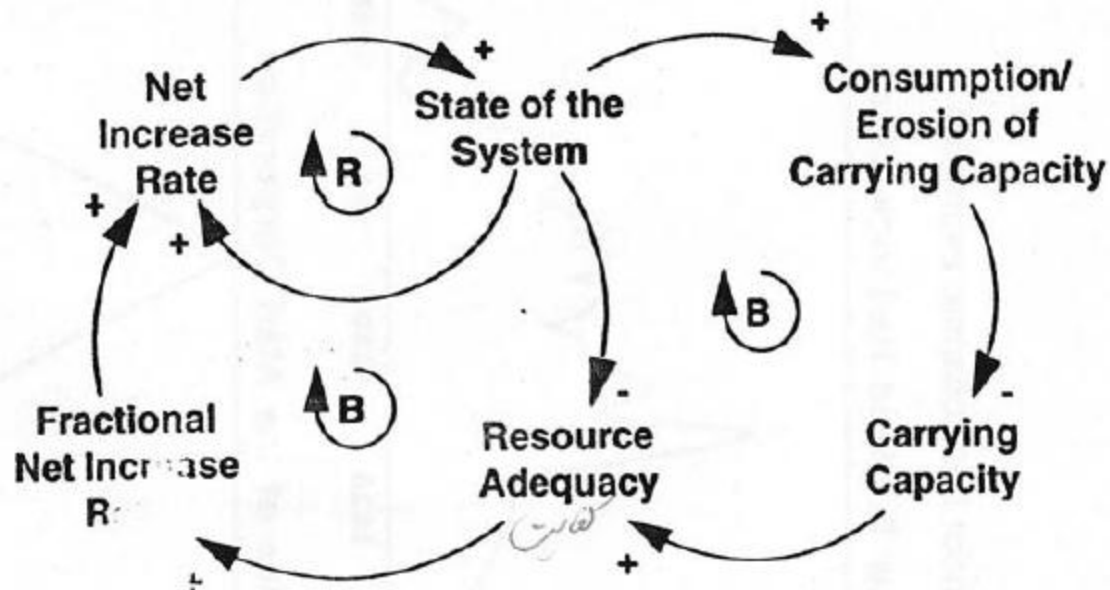
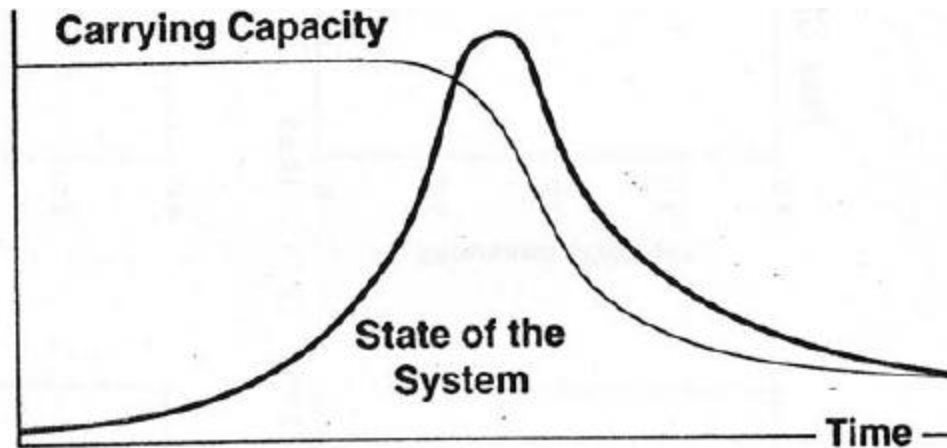
■ رشد S شکل نیاز به بازخوردی منفی دارد تا رشد نمایی سیستم را محدود کند. در صورتی که بازخورد منفی دارای زمان تأخیر قابل ملاحظه ای باشد، سیستم ابتدا دارای رشد نمایی است و با فعال شدن بازخورد منفی نرخ رشد کاهش می یابد ولی با توجه به اینکه بازخورد منفی با تأخیر عمل می کند لذا مقدار متغیر حالت از حالت تعادل بیشتر شده و سپس با فعال شدن بازخورد منفی مجدداً کاهش یافته و حول مقدار تعادل بصورت نوسانی رفتار می کند.

رشد S شکل همراه با Overshoot



6. رفتار رشد بیش از حد و سقوط

- در رفتار S شکل فرض دوم، ثابت بودن سطح منابع محدود کننده رشد بود. در برخی مواقع رشد سیستم منجر به از بین رفتن و کاهش سطح کل منابع نیز می شود. بدین ترتیب رشد سیستم دارای دو تأثیر عمده خواهد بود: **اولاً** سرانه منبع کاهش می یابد و **ثانیاً** سطح کل منبع کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال رشد جمعیت آهوها در یک منطقه حفاظت شده منجر به از بین رفتن مراتع آن منطقه خواهد شد.



سایر حالات رفتار

تعادل: پایداری و ثبات نیز در سیستمها ممکن است وجود داشته باشد چرا که در برخی موارد اثرات دینامیک به قدری کند و آهسته می باشند که تغییرات سیستم نامحسوس خواهد بود. در حالت دیگر بدلیل وجود حلقه های بازخوردی قوی منفی در سیستم مقدار سیستم در اطراف حالت مطلوب نگه داشته شده باشد. در رابطه با حالت اول می توان به شکل گیری کوهها اشاره نمود و برای حالت دوم به جاذبه زمین اشاره کرد که اشیاء را به سمت خود می کشد.

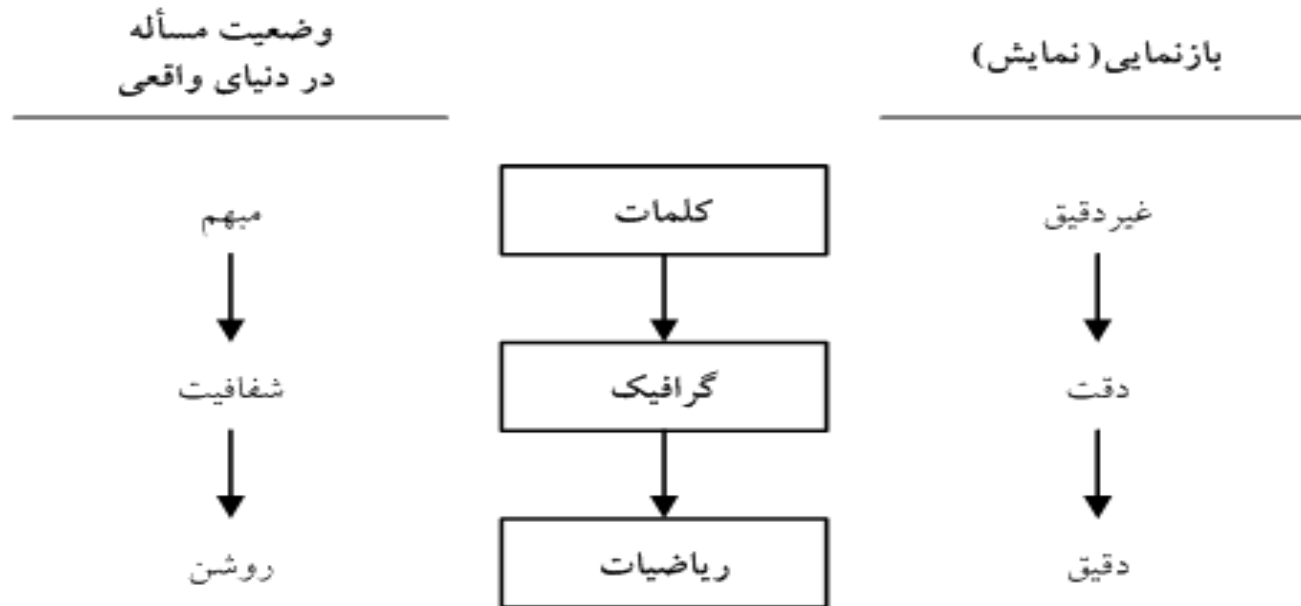
فصل سوم:

اجزای سازنده

پویایی سیستم

مدل پویایی های سیستم

- مدل پویایی های سیستم، همانند هر مدل دیگر نمایشی از سیستم دنیای واقعی به منظور مطالعه رفتار سیستم، تحت شرایط آزمایشی مختلف است.
- این مدل از هر سه شیوهی معمول ارتباطی یعنی کلمات، گرافیک و ریاضیات، برای نمایش سیستم بهره می گیرد.



اجزای سازنده مدل‌های پویایی‌های سیستم

■ متغیرها

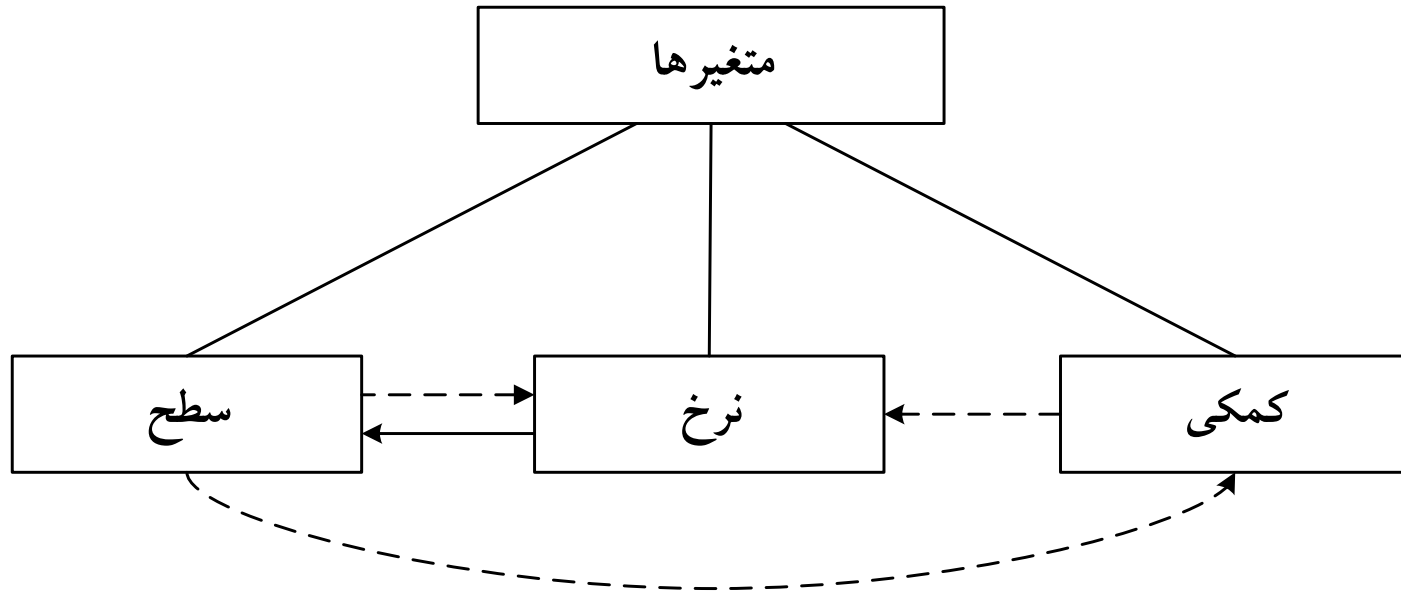
■ ابزارهای نموداری

■ معادلات

■ ساختار بازخوری و رفتار پویا

■ تأخیرها

ماهیت متغیرها



—————> جریان فیزیکی

- - - - -> جریان اطلاعاتی

ماهیت متغیرها - متغیر حالت

■ متغیر حالت (سطح): اساساً **انباشت** یا **انتگرال جریان** در طول زمان را بازنمایی می کند.

■ مقادیر **متغیرهای حالت**، **وضعیت سیستم** را برای تصمیم گیری معلوم می کند و به همین علت است که تصمیمات مدیران باید مطابق با وضعیت سیستم تغییر پیدا کند.

■ این متغیرها شامل:

سطوح فیزیکی: مواد، پول، نیروی انسانی، سفارشات

سطوح اطلاعاتی: زمانی که از یک جریان فیزیکی در طول یک دوره زمانی میانگین گرفته می شود این مقدار یک سطح اطلاعاتی را بازنمایی می کند. متغیر متوسط فروش یک متغیر سطح اطلاعاتی است.

این متغیرها تحت تاثیر متغیرهای نرخ هستند و **سیستم یا متغیرهای نرخ** را از طریق بازخوردهای اطلاعاتی کنترل می کنند.

متغیر سطح

✓ متغیرهای سطح انباشت و یا تجمیع یک جریان در طول زمان را نشان می‌دهند.

✓ متغیرهای سطح را می‌توان در هر نقطه از زمان اندازه‌گیری کرد.

✓ اصولاً در یک سیستم با توجه به نوع زیر سیستم که می‌تواند فیزیکی و یا اطلاعاتی باشد، دو نوع متغیر

سطح وجود دارد.

✓ زیر سیستم فیزیکی با جریان منابع فیزیکی مرتبط است، مانند مواد، پول، نیروی انسانی، سفارشات و

✓ زمانی که این جریان‌ها انباشته می‌شوند، مبین « سطوح فیزیکی » هستند.

متغیر نرخ

- متغیرهای حالت، توسط مشتقات آنها تغییر می‌یابند و در حقیقت با میزان تغییرات متغیرهای حالت، مقدار متغیرهای نرخ معلوم می‌شود و با مشخص شدن مقدار متغیرهای نرخ، مقدار متغیرهای حالت در زمان بعدی معلوم می‌شود.

متغیر نرخ

☑ متغیرهای نرخ در یک سیستم همان «متغیرهای تصمیم» هستند که توسط ساختار سیاست‌ها و استراتژی‌های

سیستم تعیین می‌شوند.

☑ متغیرهای نرخ به صورت جریان‌های ورودی و خروجی یک متغیر سطح هستند و بنابراین تصمیمی که در

قالب متغیرهای نرخ اتخاذ می‌شود، متغیرهای سطح و یا اطلاعات در مورد سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

☑ متغیرهای نرخ را نمی‌توان در یک لحظه از زمان اندازه‌گیری کرد و باید مقدار آنها را در یک بازه زمانی

مشخص اندازه‌گیری کرد.

متغیر کمکی

✓ این متغیرها از لحاظ تئوری ، اختیاری هستند.

✓ متغیرهای کمکی ساختار ظریف و دقیق سیاستها را تعریف می کنند.

✓ عبارت دیگر، ارتباطاتی که معرف یک متغیر نرخ هستند، با متغیرهای کمکی بصورت دقیق و با جزئیات

کامل نمایش داده می شوند.

✓ اگر این متغیرها حذف شوند، جزئیات ساختار سیاستها در مدل، بصری و شفاف نخواهد بود. بنابراین،

متغیرهای کمکی باعث می شوند که مدل پویایی های سیستم قابل فهم تر گردند.

متغیر حالت و نرخ

- متغیرهای حالت حاصل انتگرال از متغیرهای نرخ می باشد و نرخ خالص ورودی به متغیر حالت (نرخ ورودی منهای نرخ خروجی)، نرخ تغییرات متغیر حالت را معلوم می کند.

$$Stock(t) = \int_{t_0}^t [Inflow(s) - Outflow(s)] ds + Stock(t_0)$$

$$d(Stock) / dt = Inflow(t) - Outflow(t)$$

شناسایی متغیر حالت و نرخ

- هر متغیری که در زمان مشخصی قابل اندازه گیری باشد، متغیر حالت است.
- متغیرهای نرخ، نشان دهنده تغییرات در طول زمان است و در نتیجه با صفر کردن طول زمان (ثابت کردن زمان) قابل اندازه گیری نیستند.
- با توجه به تعریف متغیرهای حالت و نرخ، واحد متغیر نرخ همان واحد متغیر حالت است تقسیم بر زمان.

مثال حالت و نرخ

■ مثالی از متغیرهای حالت در حوزه اقتصاد عبارتند از:

موجودی در بانک، موجودی در انبار، دارایی‌های ثابت
(ساختمان، ماشین آلات و...)، بدهی‌ها، حقوق صاحبان سهام و....

■ مثالی از متغیرهای نرخ در حوزه اقتصاد عبارتند از:

تولید، فروش، استخدام و اخراج کارکنان، تورم و...

■ تعیین کنید متغیر مورد نظر یک متغیر نرخ است یا حالت. اگر تشخیص شما متغیر نرخ است متغیر حالت متناظر و اگر تشخیص شما متغیر حالت است متغیر نرخ متناظر را مشخص کنید. برای کلیه متغیرها واحد اندازه-گیری مناسب را ذکر کنید.

■ تولید ملی، سهم بازار یک کالا، نرخ بهره بانک، فرسایش خاک، طرفداران یک شخصیت سیاسی، زمین های زیر کشت، دانش ریاضی یک دانشجو، نفرت از یک محصول خاص، قیمت یک محصول، کیفیت یک محصول، مصرف برق، انرژی پتانسیل یک جسم

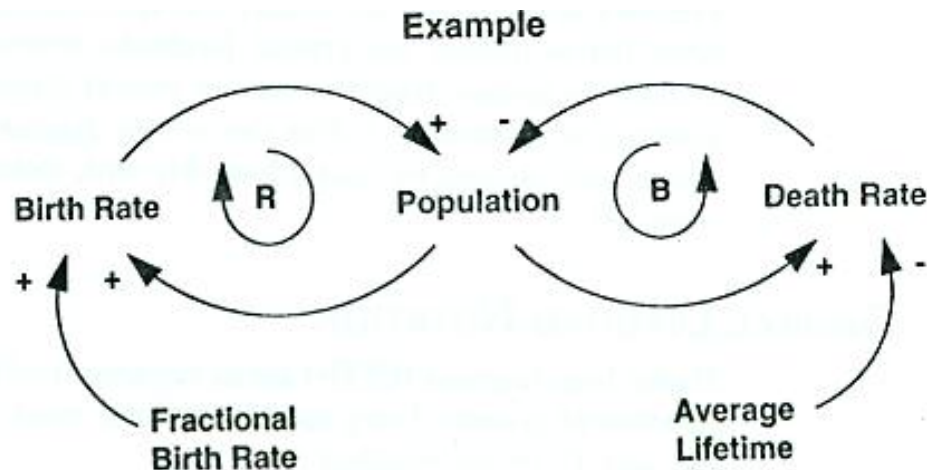
ابزارهای نموداری

ابزارهای نموداری برای بیان ساختار علت و معلولی و همچنین ساختار بازخوری علت و معلولی سیستم به کار می‌روند:

- ✓ نمودار زیر سیستم (Sub-system Diagram)
- ✓ نمودار حلقه علّی (Causal Loop Diagram)
- ✓ نمودار ساختار سیاست (Policy Structure Diagram)
- ✓ نمودار جریان (Flow Diagram)

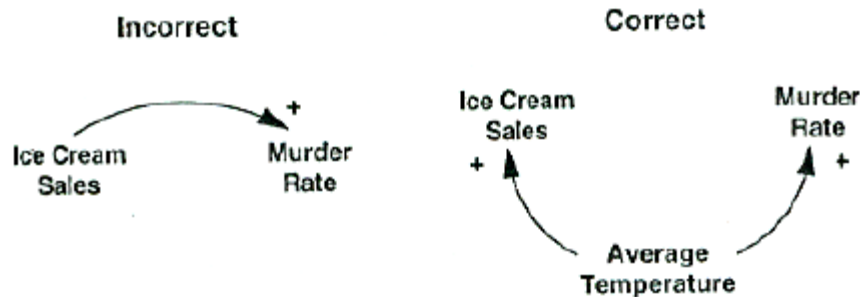
نمودارهای علی و معلولی

- نمودارهای علی و معلولی یکی از مهمترین ابزارها در ترسیم ساختار بازخوردی سیستم می باشند.
- برای تعیین علامت رابطه علی فرض بر آن است که سایر متغیرها ثابت بوده و هدف بررسی اثر تغییرات متغیر مستقل بر متغیر وابسته است.
- از ترکیب روابط علی و معلولی در یک دایره بسته، بازخورد یا دایره علی و معلولی حاصل می شود. است. حلقه بازخورد نیز دارای دو حالت مثبت (Reinforcing) یا منفی (Balancing) است.



نمودارهای علی و معلولی

- در ترسیم نمودار علی و معلولی داشتن همبستگی بین متغیرها مهم نیست بلکه باید بین دو متغیر رابطه علی برقرار باشد.
- شبیه سازی به معنای تقلید می باشد و ایجاد رفتار فقط به این معنی نیست که مدل تجربه گذشته را تولید نماید بلکه باید بتواند به رویدادها و سیاستهای کاملاً جدید پاسخ دهد.
- همبستگی بین متغیرها نشان دهنده وضعیت سیستم در گذشته است و ساختار سیستم را نشان نمی دهد. بدین ترتیب با **بروز رویدادهای جدید** و **یا اعمال سیاستهای نو** و **یا با فعال شدن برخی از حلقه های بازخوردی غیرفعال در گذشته** ممکن است همبستگی بین متغیرها صادق نباشد. به عنوان مثال داده ها نشان از وجود همبستگی بین تقاضا برای بستنی و تعداد قتل می باشد.



تمرین:

■ اثر عوامل مختلف بر جذابیت محصول و به تبع آن تقاضای محصول را تعیین نموده و نمودار علی و معلولی آن به همراه علائم روابط علی را مشخص نمائید؟

تعیین علامت حلقه علی

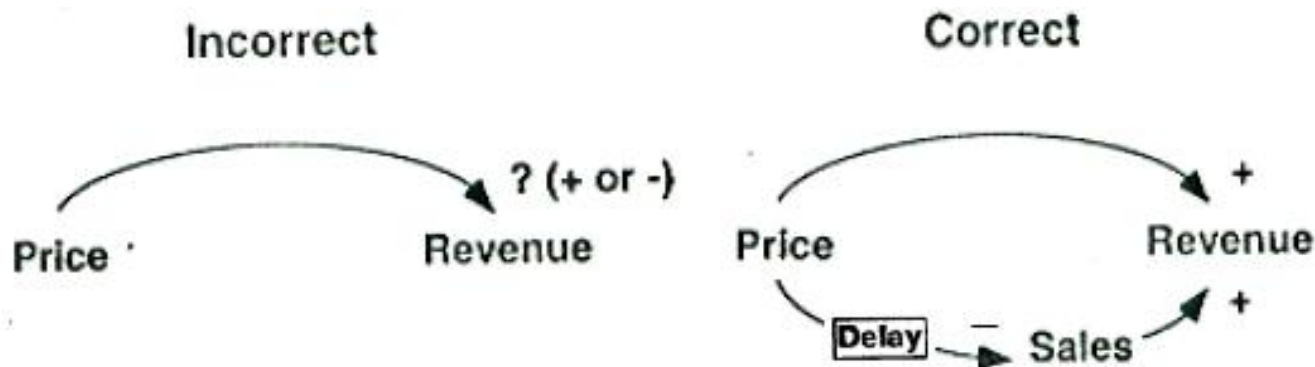
دو روش برای تعیین علامت حلقه های علی وجود دارد:

- **روش سریع:** شمارش تعداد روابط علی منفی
- **روش صحیح:** بررسی اثر تغییرات از طریق طی کامل حلقه علی



تعیین علامت رابطه علی

- در برخی مواقع روابط علی ترسیم می شود که **با توجه به سایر پارامترها** و یا در **شرایط مختلف** دارای علامت مختلفی است. به عنوان مثال رابطه بین قیمت کالا و درآمد شرکت به صورت یک رابطه علی ترسیم شده است. در صورتی که بسته به کشش تقاضا نسبت به قیمت رابطه فوق می تواند مثبت یا منفی باشد.
- در مواقعی که **یک رابطه علی بیش از یک علامت می پذیرد معنی آن این است** **بیش از یک مسیر برای ترسیم رابطه علی بین دو متغیر وجود دارد.**
- همچنین جداسازی مسیرهای تأثیر قیمت بر درآمد شرکت منجر به شناخت دقیقتری از انواع تأخیرات سیستم نیز خواهد شد.



- بهتر است حلقه های بازخوردی اصلی مدل را با استفاده از یک شماره و نام تفکیک کنید. شماره حلقه در یافتن آن و نام حلقه در درک عملکرد حلقه مؤثر است.
- تأخیرها از عوامل اصلی در ایجاد رفتار سیستم می باشند. معمولاً تأخیرها مرز بین اثرات کوتاه مدت و بلند مدت مدل را نشان میدهند. بنابراین مدل علی شما باید تأخیرها را نیز نشان دهد.



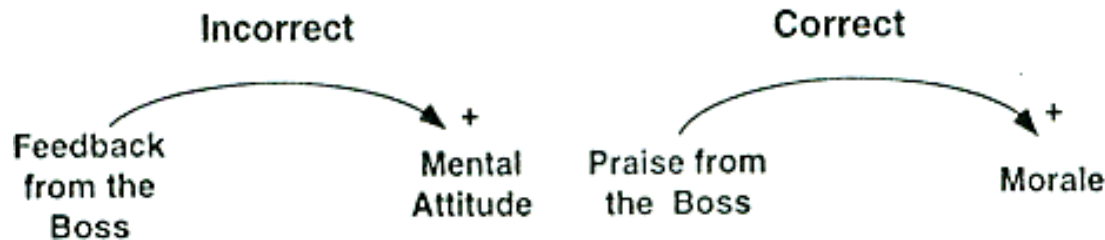


نام های متغیرها

- نامهای متغیر باید بصورت اسم و یا عبارات اسمی باشند. زیرا روابط علی بیان کننده عمل انجام شده (فعل) می باشند و نمودار علی می خواهد ساختار مدل را بیان کند و نه رفتار آن را

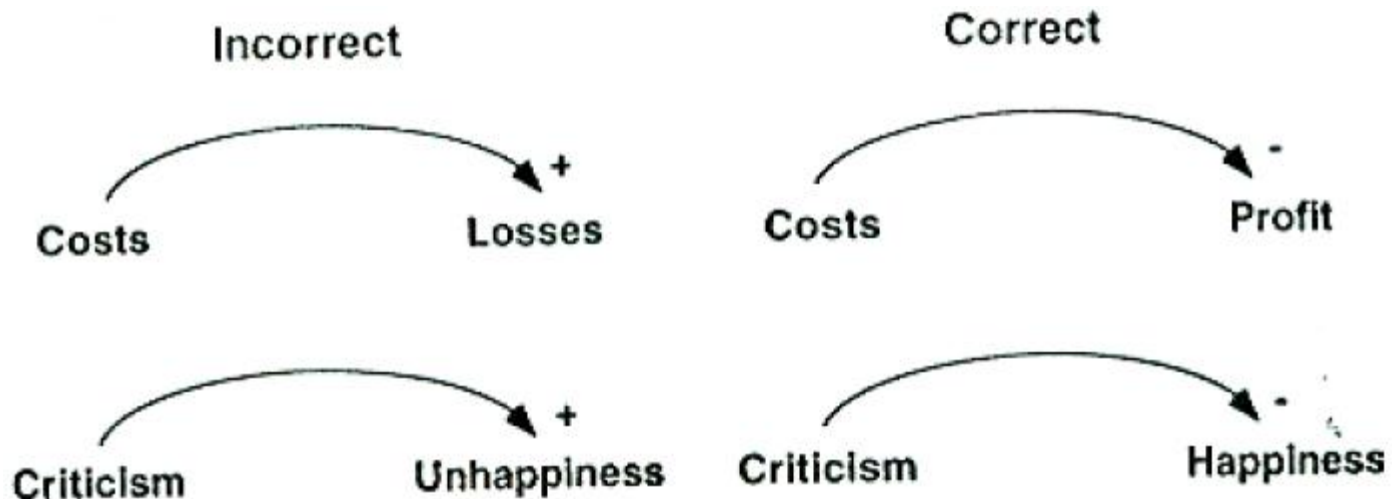


- نام متغیرها باید بسیار گویا باشد به گونه‌ای که به صراحت و با شفافیت کامل نشان‌دهنده نوع رابطه علی باشد.



نام متغیرها

■ استفاده از کلمات و مفاهیم مثبت برای نامگذاری متغیرها



نکاتی چند در رابطه با ساختار نمودار علی و معلولی

- برای نشان دادن بازخوردها از فلش های منحنی استفاده نمائید چراکه نسبت به فلش مستقیم مفهوم بازخورد را بهتر نمایش می دهد.
- حلقه های بازخوردی مهم را به شکل دایره یا بیضی نمایش دهید.
- نمودارهای علی و معلولی خود را بگونه ای ترسیم کنید که کمترین برخورد بین خطوط باشد.
- برای رسیدن به بهترین وضعیت نمودار علی را چندین بار ترسیم کنید (تکرار).

انتخاب مناسبترین سطح جزئیات

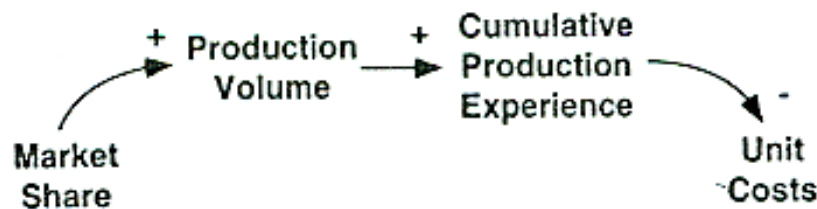
■ جزئیات زیاد درک مدل را مشکل نموده و کلی گویی نیز به منطق روابط علی و معلولی صدمه می زند.

■ برای رسیدن به حالت مطلوب سعی کنید ابتدا در کلی ترین حالت نمودار را ترسیم نمائید سپس روابطی کلی را که خواننده مدل قادر به درک منطق آن نمی باشد بگونه ای اصلاح کنید که قابل فهم باشند.

If your audience was confused by



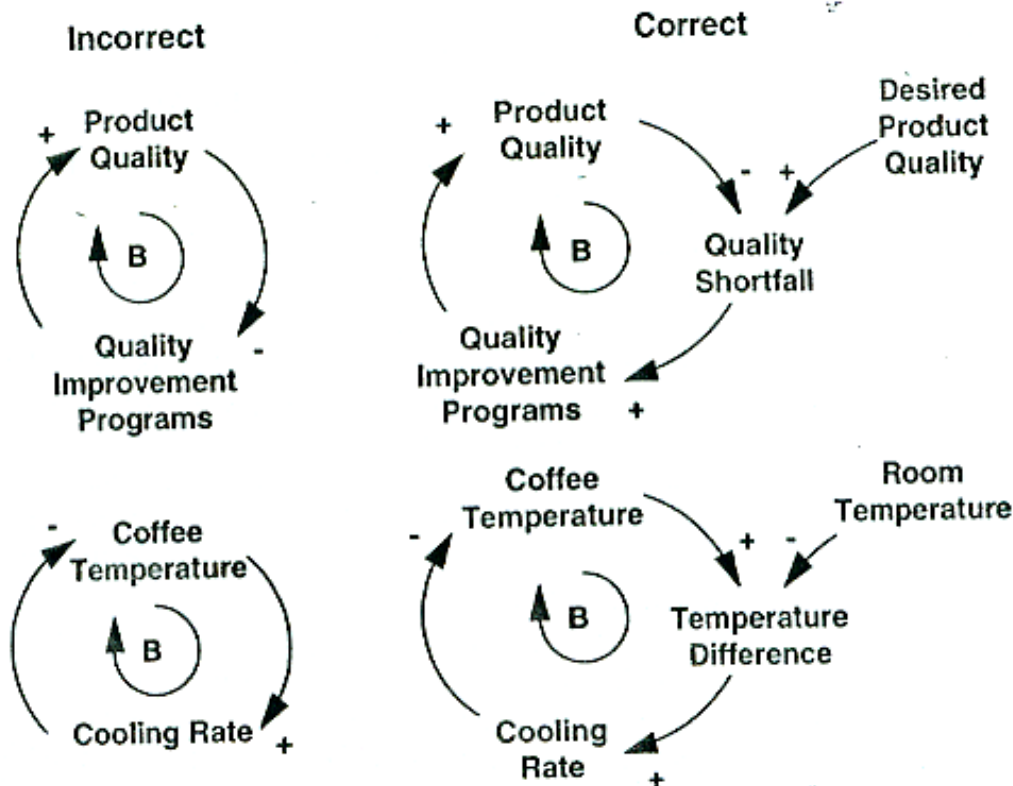
you might make the intermediate concepts explicit as follows:



نکات رسم نمودار علی

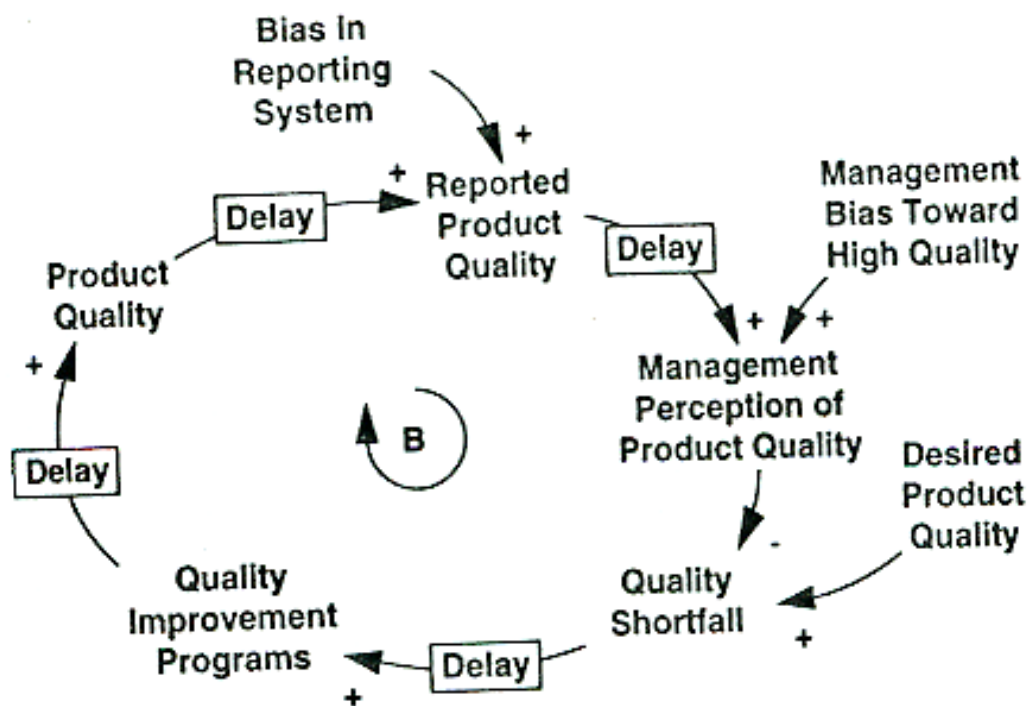
■ استفاده از روابط علی پیچیده و بزرگ بررسی و درک نمودار و اینکه نمودار فوق چگونه رفتار دینامیک سیستم را ایجاد می کند مشکل خواهد نمود.

■ اهداف (حالت تعادل) حلقه های علی منفی را مشخص نمائید



نکات رسم نمودار علی

- معمولاً بین وضعیت صحیح و وضعیت درک شده از سیستم اختلاف وجود دارد. و این اختلاف متأثر از برخی عوامل مثل زمانهای تأخیر (تأخیر در گزارش دهی و یا تأخیر در فرایند محاسبات)، خطای اندازه گیری، خطای انحراف به یک سمت خاص، تحریف و ابهام در اطلاعات می باشد.



ترسیم نمودار با استفاده از داده های مصاحبه

■ داده لازم برای ترسیم نمودار علی را با استفاده از روشهای مختلفی می توان جمع آوری نمود که عبارتند از: **بازدید و مشاهده، مصاحبه و استفاده از مستندات موجود.**

■ روش بازدید و مشاهده معمولاً برای مدل‌های سیستم دینامیک روش مناسبی نمی باشد ولی استفاده از روش مصاحبه بسیار مفید و مناسب است. البته مصاحبه به تنهایی کافی نبوده و باید از مستنداتی که در رابطه با سیستم فوق نیز وجود دارد در کنار مصاحبه استفاده کرد.

■ داده های حاصل از مصاحبه مجموعه ای غنی خواهد بود که شامل: **شرح فرایندهای تصمیم گیری، سیاستهای داخلی و ویژگیهای انگیزشی موجود در سیستم و غیره می باشد.**

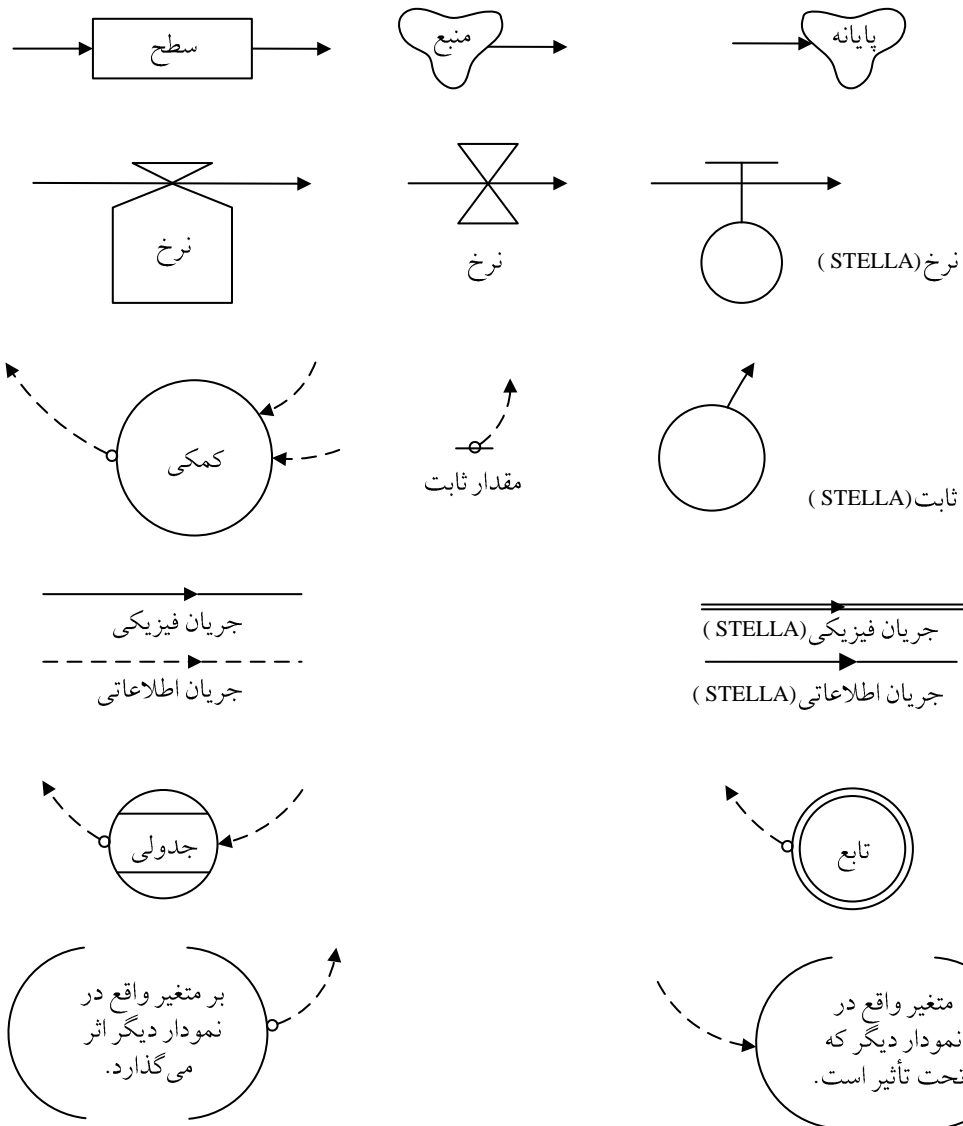
محدودیت نمودار علی-معلولی

- نمودار علی می تواند مدل ذهنی و فیدبک های سیستم را نشان می دهد، اما عدم توانایی نشان دادن ساختار پویای سیستم محدودیت آن است.
- وجود دینامیک در سیستم ها به معنی وجود عناصر ذخیره کننده است؛ به عبارت دیگر متغیرهای حالت و نرخ در پدیده ها باعث پویایی سیستم می شود
- در دینامیک سیستم علاوه بر متغیرهای حالت و نرخ، فیدبک های درونی سیستم نقش مهمی را ایفا می کند.
- وجود دینامیک باعث می شود تا معادلات سیستم به صورت معادلات دیفرانسیل درآید.

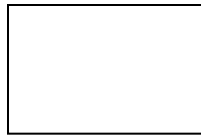
نمودار جریان

- ✓ هدف اصلی از نمودار جریان نشان دادن ساختار ریز و جزئی جریان سیستم در قالب ساختارهای ریز سیاستهاست تا ایجاد و تدوین مدل ریاضی برای شبیه سازی تسهیل شود.
- ✓ این نمودار کامل ترین نمودار در مدل سازی پویاییهای سیستم است و محدودیتها و ضعفهای دیگر نمودارهایی را که به آنها اشاره شد، می پوشاند.
- ✓ این نمودار بین زیرسیستم های فیزیکی و اطلاعاتی تمیز قائل می شود و همچنین انواع مختلف متغیرها و توابع را طبقه بندی می کند.

نمودار جریان - نمادها (STELLA و DYNAMO)



نمودار جریان - نمادها (Vensim)



Stock



Flow

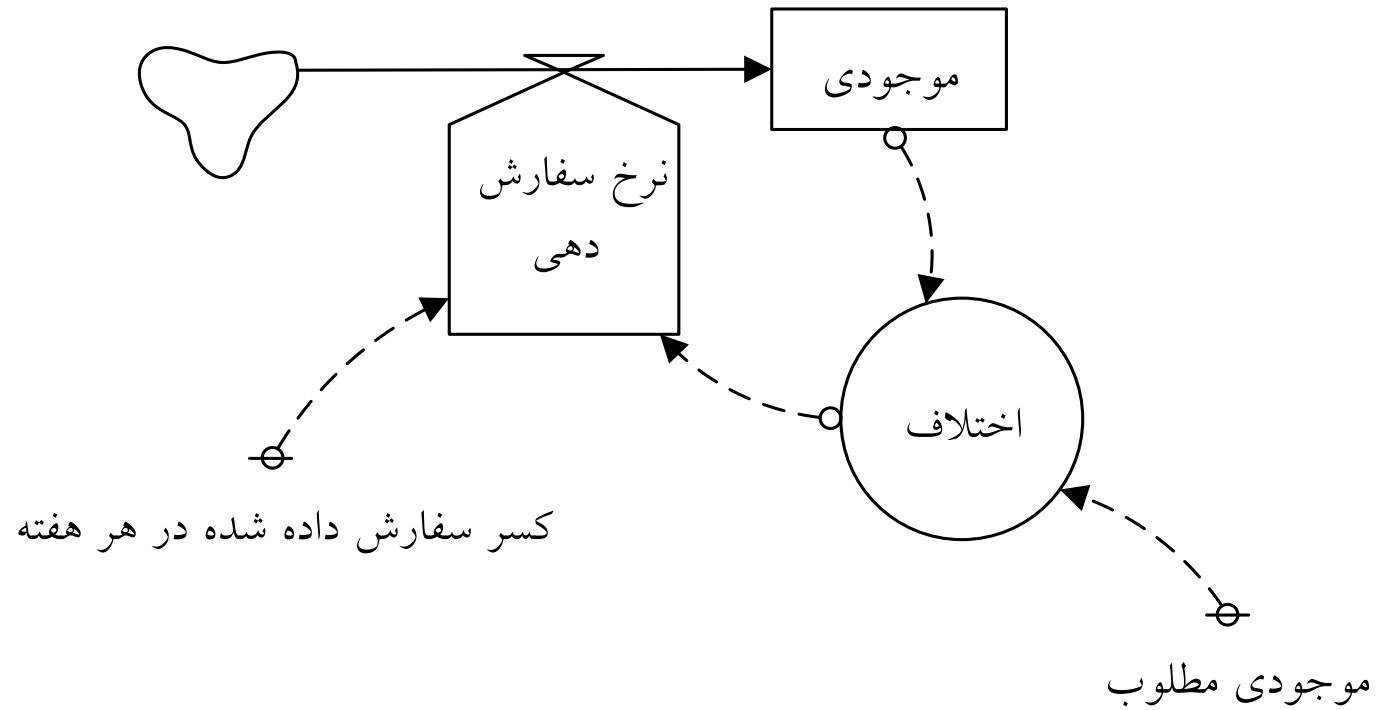


Valve (Flow Regulator)

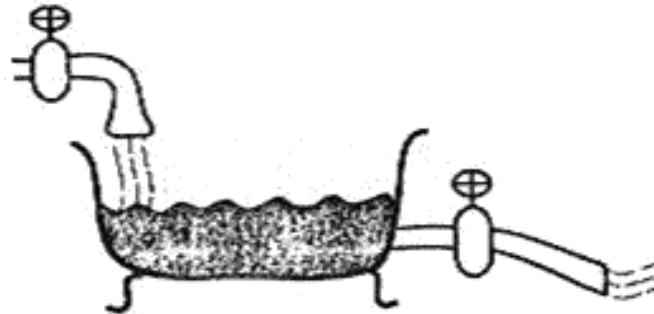


Source or Sink
(Stocks outside model boundary)

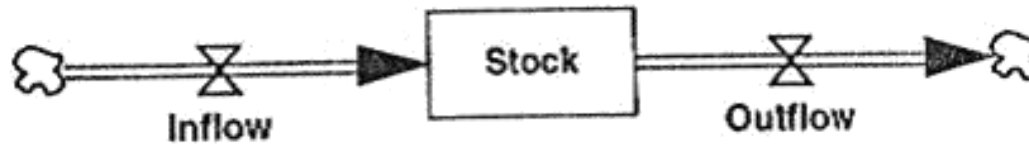
نمودار جریان - مثال



نمودار جریان



Stock and Flow Diagram:



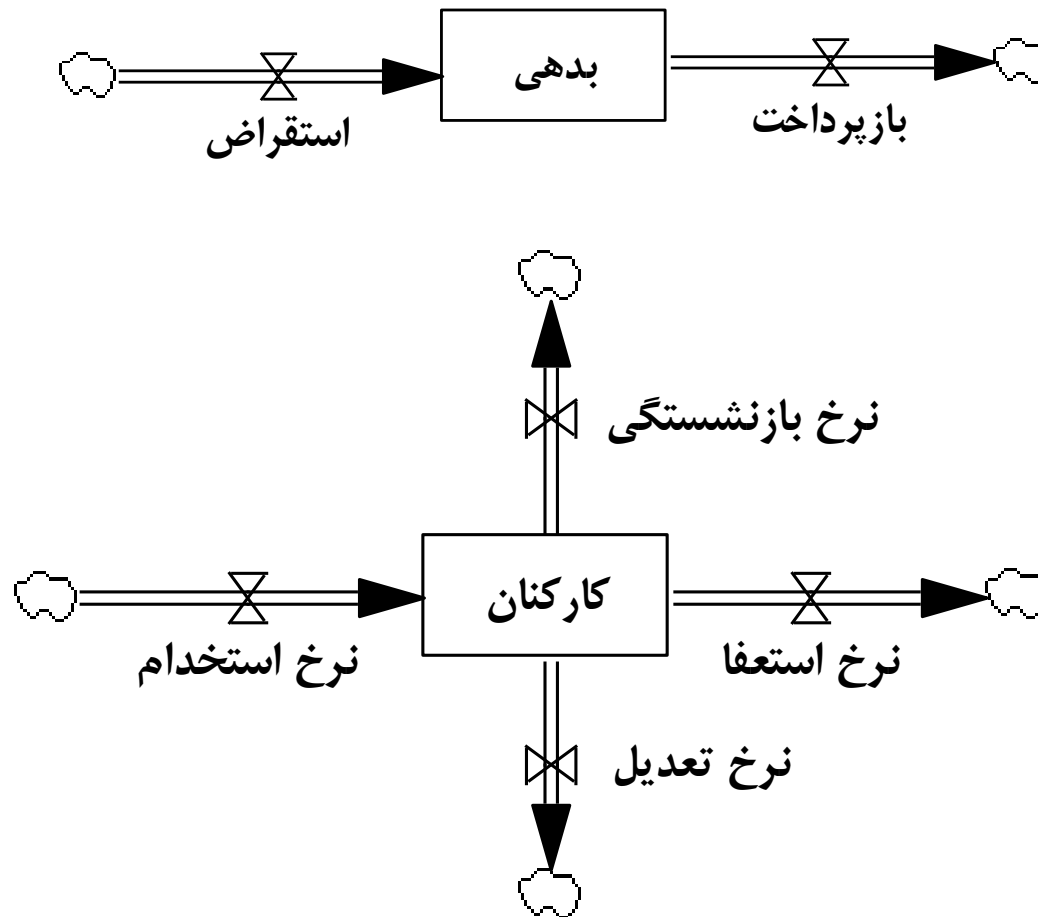
Integral Equation:

$$\text{Stock}(t) = \int_{t_0}^t [\text{Inflow}(s) - \text{Outflow}(s)] ds + \text{Stock}(t_0)$$

Differential Equation:

$$d(\text{Stock})/dt = \text{Net Change in Stock} = \text{Inflow}(t) - \text{Outflow}(t)$$

نمودار جریان - مثال (نمادهای نرم افزار Vensim)



سیستم‌های نوع اول

نوع یک سیستم : نوع یک سیستم پویا از روی تعداد متغیرهای حالت و یا انباشتهایی که شامل می شود، مشخص می شود.

یک سیستم نوع اول تنها شامل یک انباشت است.

سیستم‌های خطی : سیستم هایی هستند که ورودی خالص به انباشت در آنها مقداری ثابت است. هر شکل دیگری برای ورودیهای خالص، غیر خطی است.

بازخورد مثبت و رشد نمایی

- ✓ ساده ترین سیستم بازخورد، یک حلقه بازخورد مثبت نوع اول است.
- ✓ در این نوع سیستم تنها یک انباشت وجود دارد.
- ✓ مقدار این انباشت در هر لحظه از جمع ورودیهای خالص به آن بدست می آید.
- ✓ این ورودی های خالص در هر لحظه به وضعیت سیستم (انباشت) بستگی دارد.

$$S = \text{INTEGRAL} (S(0), \text{ورودی خالص})$$

$$f(S) = \text{ورودی خالص}$$

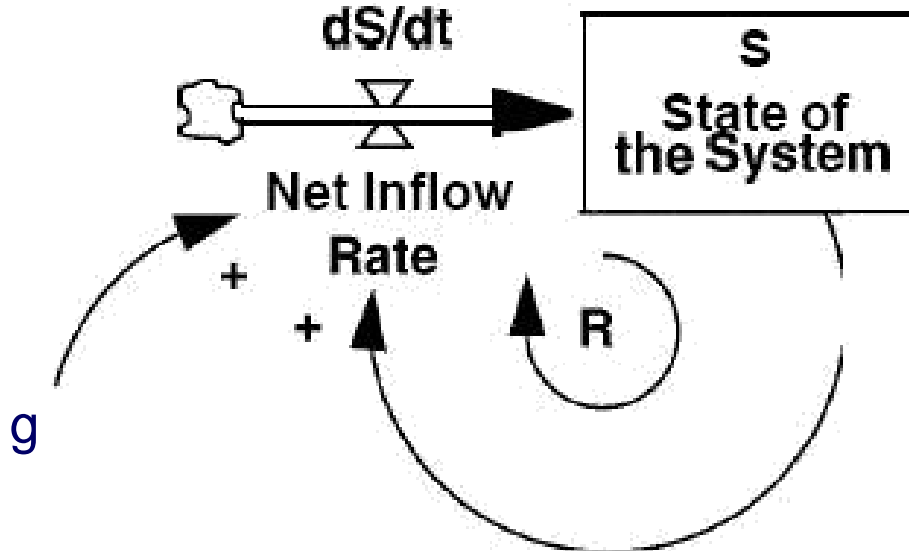
و اگر سیستم خطی باشد :

$$gS = \text{ورودی خالص}$$

$$g = \text{نرخ رشد نسبی انباشت}$$

بازخورد مثبت و رشد نمایی

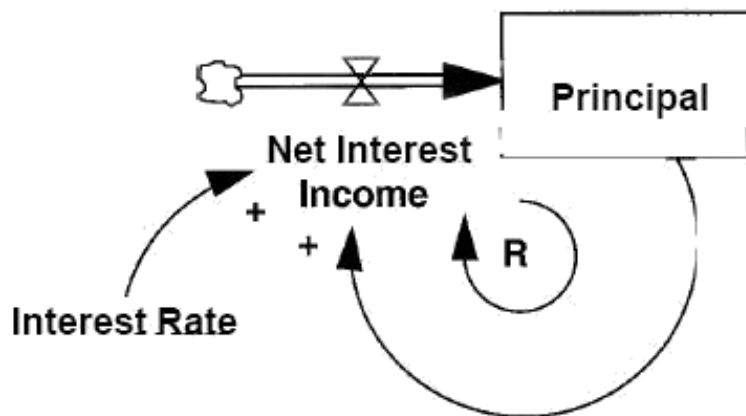
ساختار کلی سیستم بازخورد مثبت خطی نوع اول



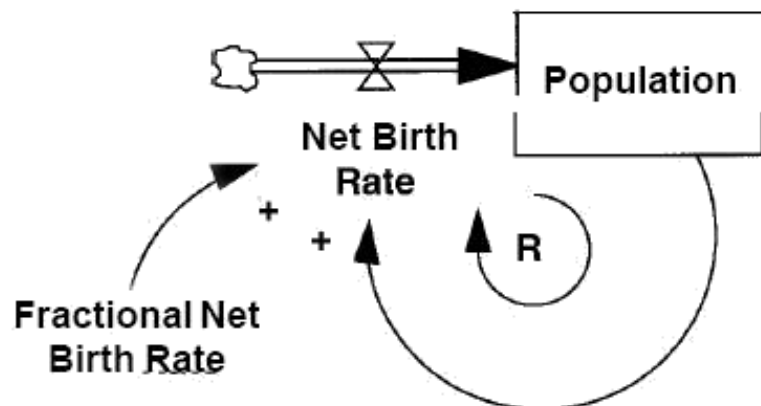
$$dS/dt = \text{نرخ ورودی خالص} = gS$$

بازخورد مثبت و رشد نمایی

مثال



بهره خالص = نرخ بهره \times سرمایه



نرخ خالص تولد = نرخ خالص تولد نسبی \times جمعیت

حل تحلیلی سیستم نوع اول خطی

$$\frac{dS}{dt} = gS \Rightarrow \frac{dS}{S} = gdt$$

داشتیم :

با انتگرال گیری از دو طرف :

$$\int \frac{dS}{S} = \int gdt \quad \longrightarrow \quad \ln(s) = gt + c$$

حال اگر هر دو طرف را در تابع نمایی قرار دهیم :

$$S = c^* \exp(gt)$$

که c^* برابر $\exp(c)$ است و مقدار S در زمان ابتدایی که $\exp(gt) = 1$ با $S(0)$ نمایش داده می شود بنا بر این:

$$S(t) = S(0) \cdot \exp(gt)$$

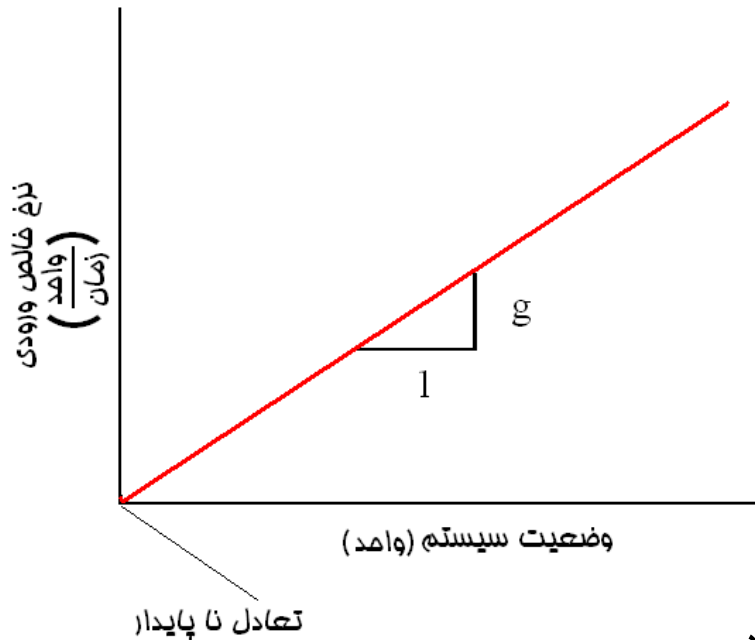
حل ترسیمی برای سیستم بازخورد مثبت نوع اول خطی

✓ می توانیم رفتار یک سیستم خطی نوع اول را بدون حل معادلات و با استفاده از نمودار فازی و به صورت ترسیمی نشان دهیم.

✓ **نمودار فازی :** نموداریست که نرخ ورودی خالص را به عنوان تابعی از وضعیت سیستم نشان می دهد.

حل ترسیمی برای سیستم بازخورد مثبت نوع اول خطی

$$dS/dt = \text{نرخ خالص ورودی} = gS$$

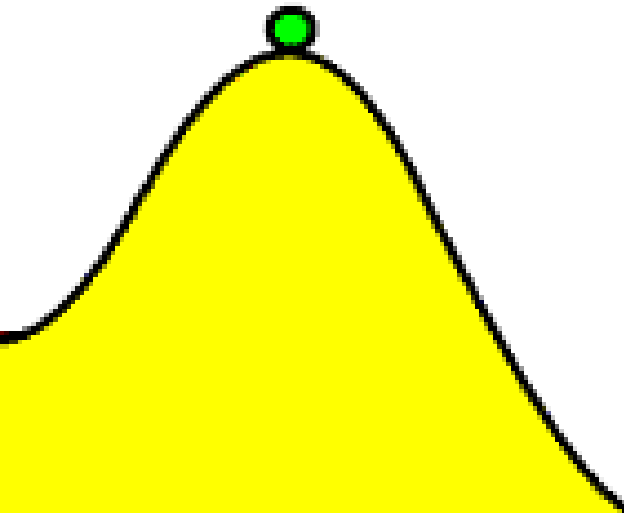
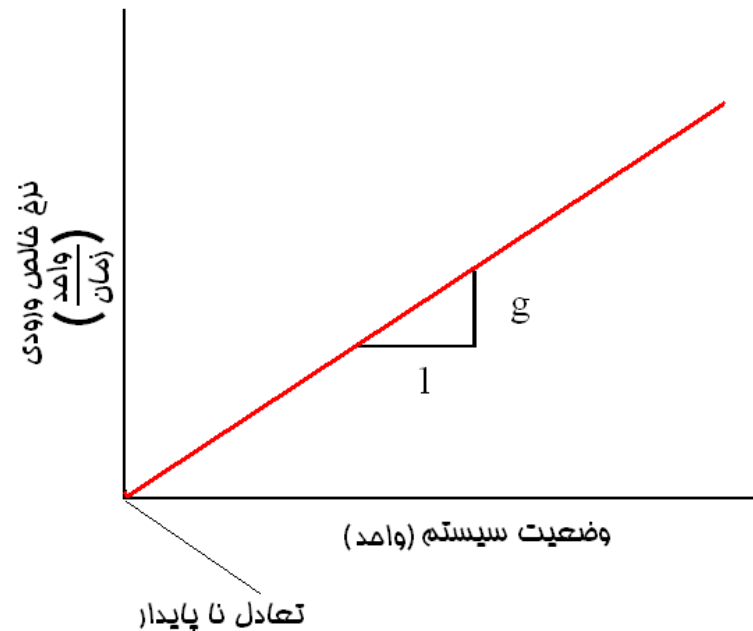


- ✓ نمودار يك خط مستقیم است که با شیب g از مبدا شروع می شود.
- ✓ در مبدا سیستم دارای يك تعادل ناپایدار است. در این نقطه، وضعیت سیستم و جریان خالص آن صفر است.
- ✓ اضافه شدن هر مقدار کوچکی به انباشت باعث خارج شدن جریان خالص از صفر می شود که انباشت را زیاد می کند و این ازدیاد انباشت باز هم جریان خالص را افزایش می دهد و ...

حل ترسیمی برای سیستم بازخورد مثبت نوع اول خطی

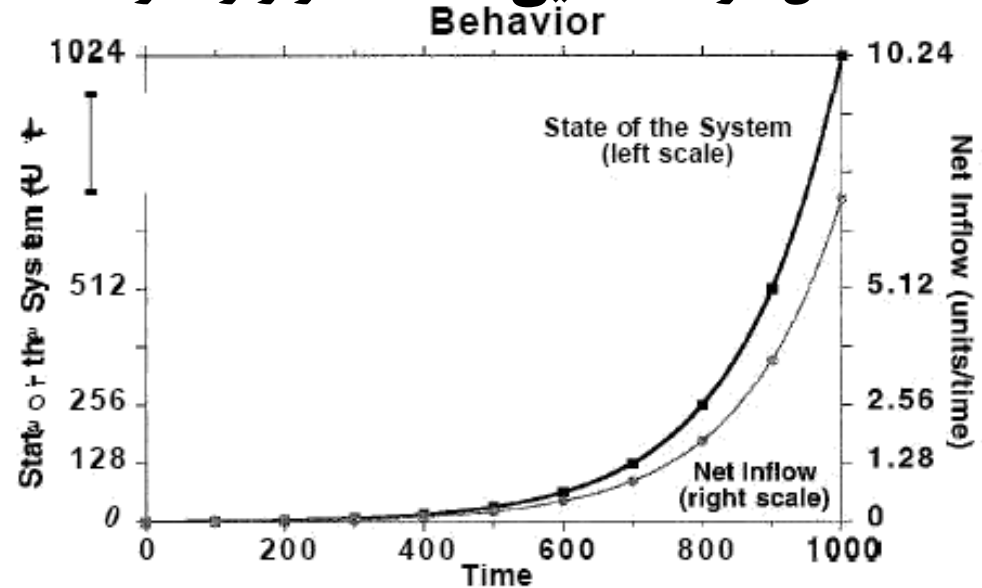
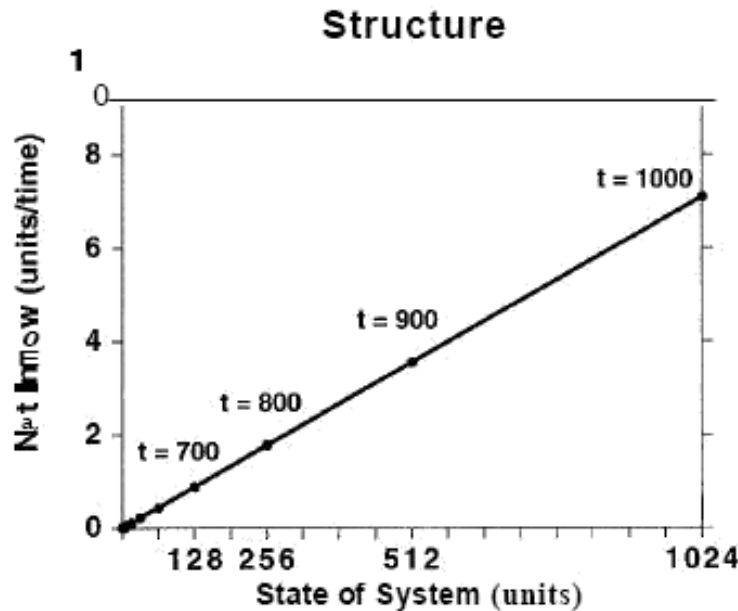
✓ این تعادل همانند تعادل توپ در بالای تپه است، با کوچکترین حرکت از بین می رود و توپ با سرعت فزاینده ای به سمت پایین تپه شروع به حرکت می کند که این دقیقا معنای بازخورد مثبت است.

$$dS/dt = \text{نرخ خالص ورودی} = gS$$



حل ترسیمی برای سیستم بازخورد مثبت نوع اول خطی

مثال : رشد نمایی - ساختار و رفتار



✓ رشد نمایی با نرخ رشد نسبی 0.7% در هر واحد زمان با وضعیت اولیه 1 واحد.

✓ شیب منحنی وضعیت سیستم (جریان خالص) در هر نقطه متناسب است با مقدار انباشت در آن نقطه

✓ نقاط در نمودارهای بالا زمانهای دو برابر شدن را نشان می دهد که این نمودارها برای 10 زمان دو برابر شدن ترسیم شده اند. (زمان دو برابر شدن : هر 100 دوره زمانی)

قدرت بازخورد مثبت : زمانهای دو برابر شدن

قانون 70 : بدست آوردن زمان دو برابر شدن

✓ حلقه های بازخورد مثبت از قدرتمند ترین فرآیند های رشد در جهان هستند. زیرا هنگامی که وضعیت سیستم رشد می یابد نرخ رشد نیز رشد می یابد.

✓ هنگامی که نرخ رشد نسبی (g)، ثابت باشد بازخورد مثبت منجر به رشد نمایی می شود.

✓ خاصیت رشد نمایی دو برابر شدن وضعیت سیستم در بازه زمانی ثابت است.

قدرت بازخورد مثبت : زمانهای دو برابر شدن

قانون 70 : بدست آوردن زمان دو برابر شدن

داشتیم :

$$S(t) = S(0). \exp(gt)$$

برای بدست آوردن زمان دو برابر شدن کافی است معادله زیر را حل کنیم:

$$2S(0) = S(0) \exp(gt_d)$$

t_d = زمانی که مقدار انباشت به دو برابر مقدار اولیه خود می رسد.

$$t_d = \frac{\ln(2)}{g}$$

که خواهیم داشت :

$$\ln(2) = 0.693 \cong 0.70$$



$$t_d = \frac{70}{100g}$$

که به آن **قاعده 70** می گویند.

درک نادرست رشد نمایی

✓ انسانها اصولاً در پیش بینی رفتار رشد نمایی ناتوانند و این موضوع به سطح تحصیلات یا دانش افراد مرتبط نیست.

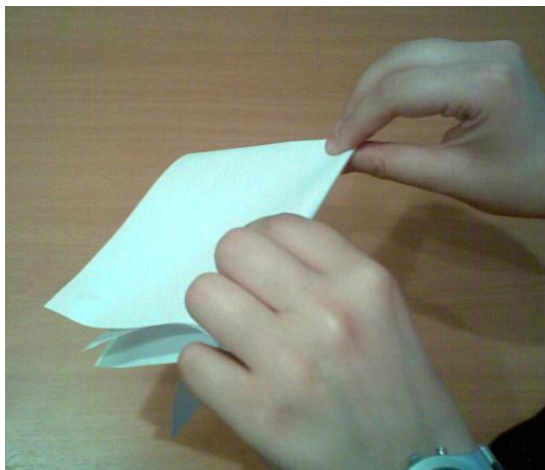
✓ مردم عمدتاً نرخ رشد را بجای اینکه بصورت نمایی پیش بینی کنند، به صورت خطی پیش بینی می کنند.

✓ ممکن است در بازه های کوچک زمان بتوانند تخمینی حدوداً صحیح داشته باشند ولی با افزایش زمان خطا بسیار زیاد می شود .

درک نادرست رشد نمایی

چالش : تا کردن کاغذ

یک کاغذ معمولی را از وسط تا کنید ، دوباره کاغذ را از وسط تا کنید.



1) اگر این کاغذ را 40 بار دیگر تا کنید ضخامت آن چقدر خواهد بود ؟

$$2^{42} \times 0.1 = 4.39 \times 10^{11} \text{ mm} \cong 440000 \text{ km}$$

برابر فاصله زمین تا کره ماه است!

2) اگر کاغذ را در کل 100 بار تا کنید ضخامت آن چقدر خواهد بود؟

$$2^{100} \times 0.1 = 1.27 \times 10^{30} \text{ mm} \cong 1.27 \times 10^{30} \text{ km}$$

برابر فاصله زمین تا خورشید و برابر 1.29×10^9 سال نوری می باشد!

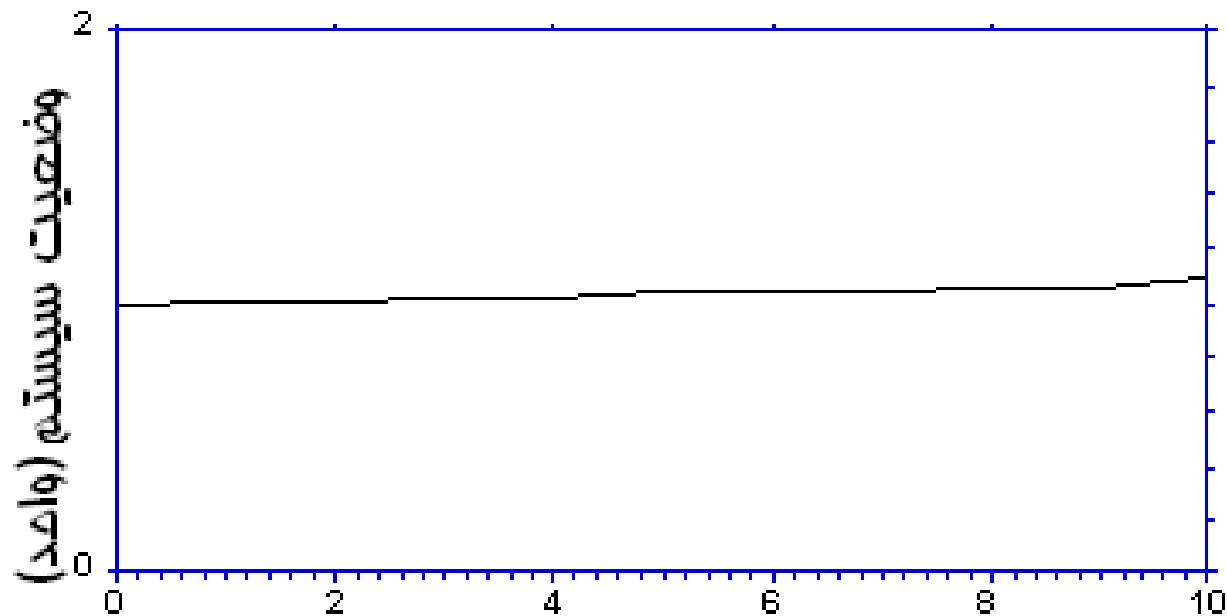
852×10^{13}

درک نادرست رشد نمایی

مثال

- ✓ یک فرآیند بازخورد مثبت با نرخ رشد $g = 0.7\%$ در نظر بگیرید.
- ✓ با توجه به قانون 70، زمان دو برابر شدن برای این مسئله برابر 100 است.

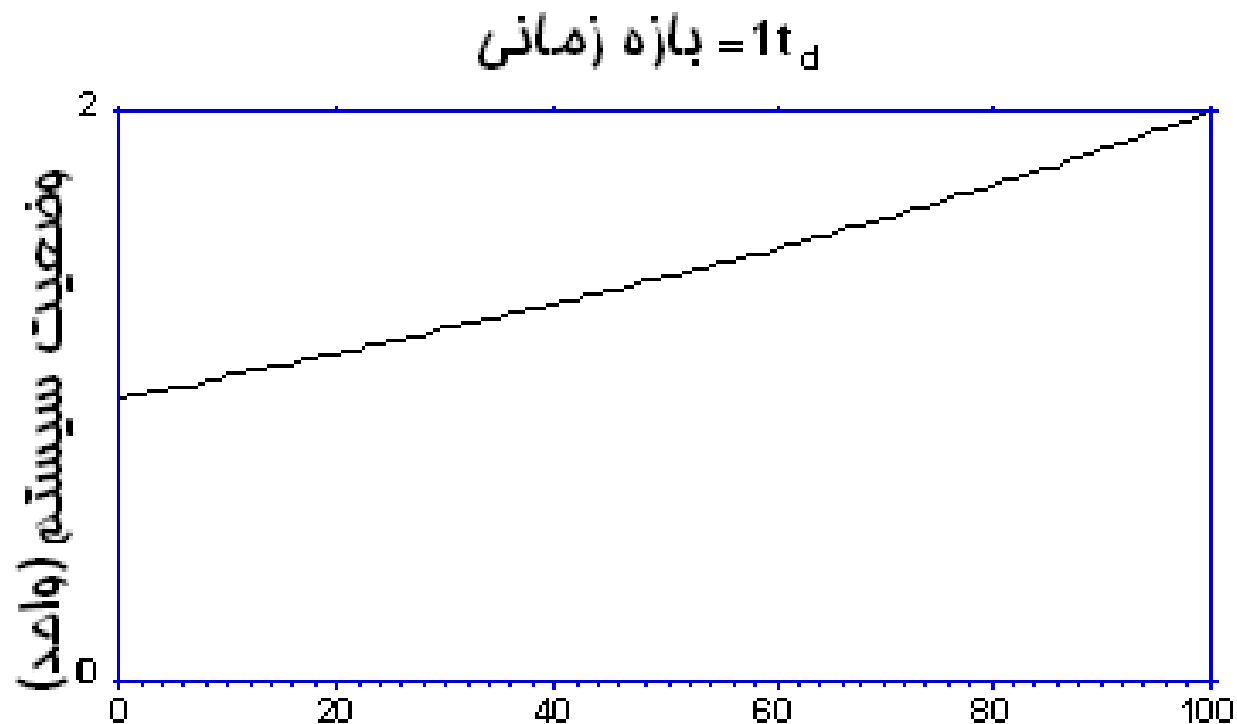
$$0.1t_d = \text{بازه زمانی}$$



دو برابر شدن اصلاً مشهود نیست

درک نادرست رشد نمایی

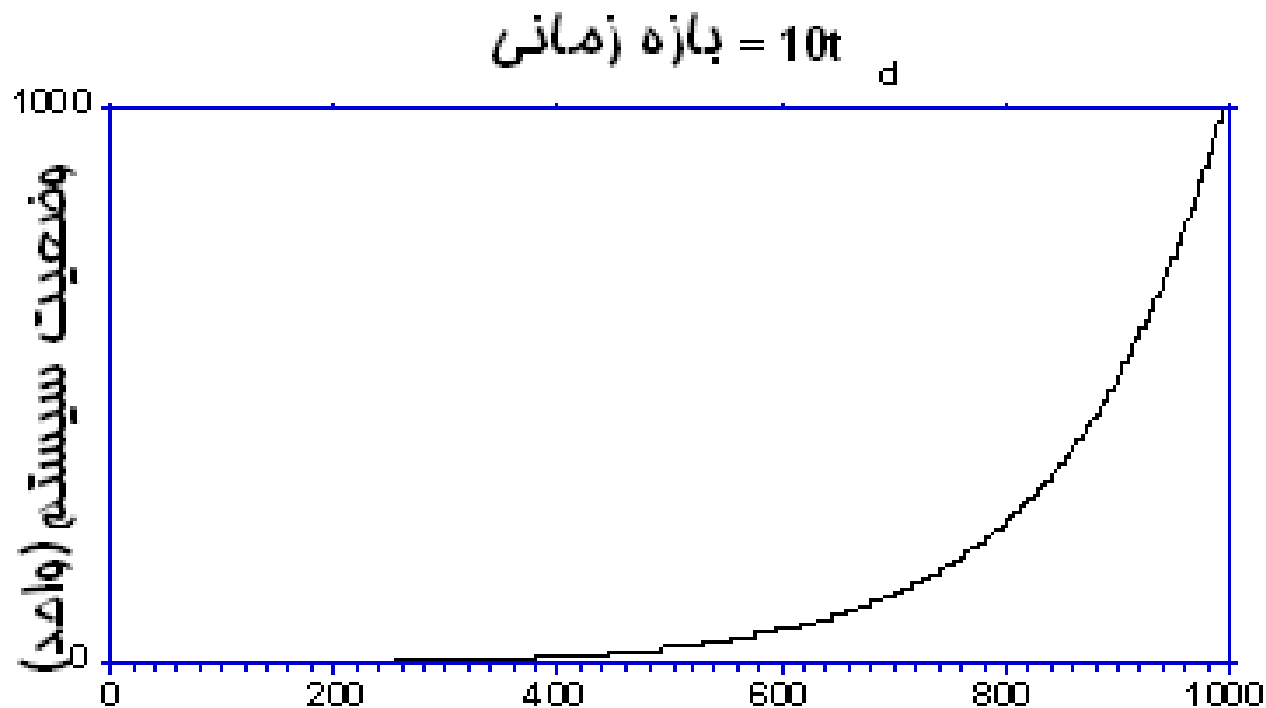
مثال



رشد بسیار شبیه به رشد خطی است

درک نادرست رشد نمایی

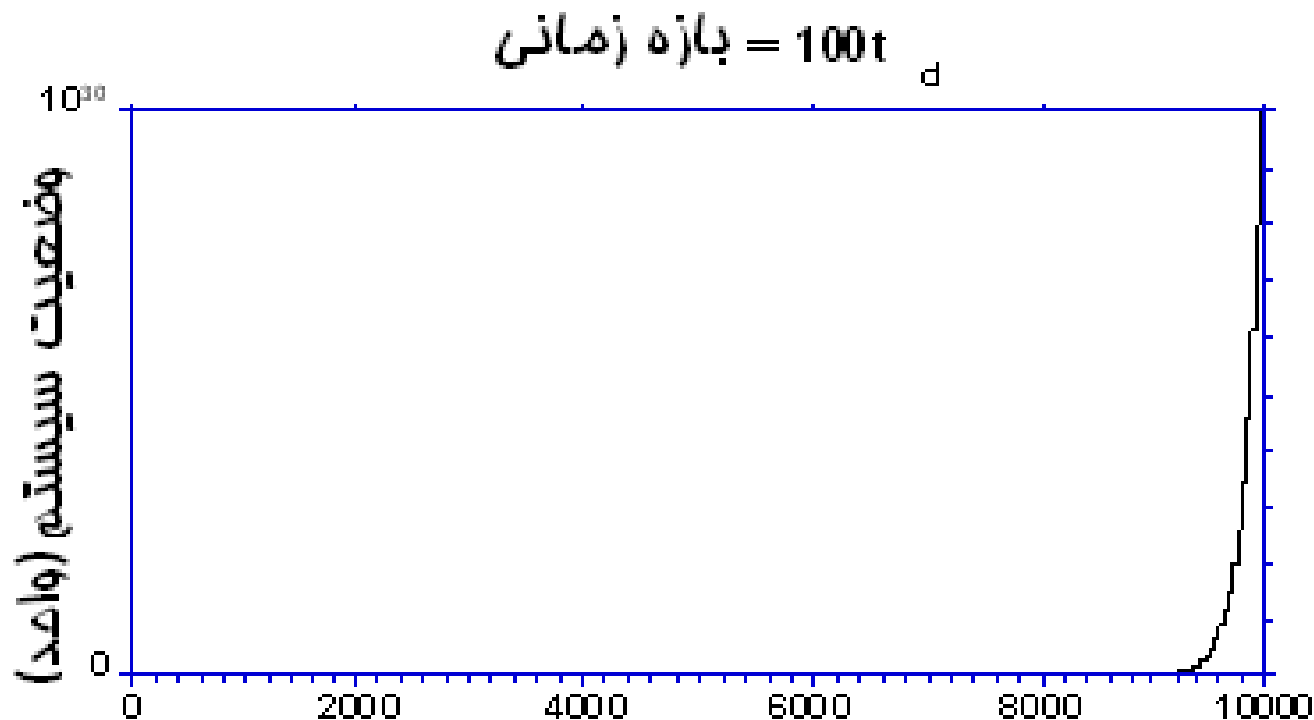
مثال



شتابدار بودن رشد نمایی به وضوح مشخص است

درک نادرست رشد نمایی

مثال



این نمودار نشان می دهد که تا 90 % زمان گذشته در مقایسه با 10 % آخر بازه زمانی، هیچ اتفاقی نیفتاده است.

درک نادرست رشد نمایی

هیچ کمیت واقعی ای نمی تواند برای همیشه رشد پیدا کند

بازخورد منفی و کاهش نمایی

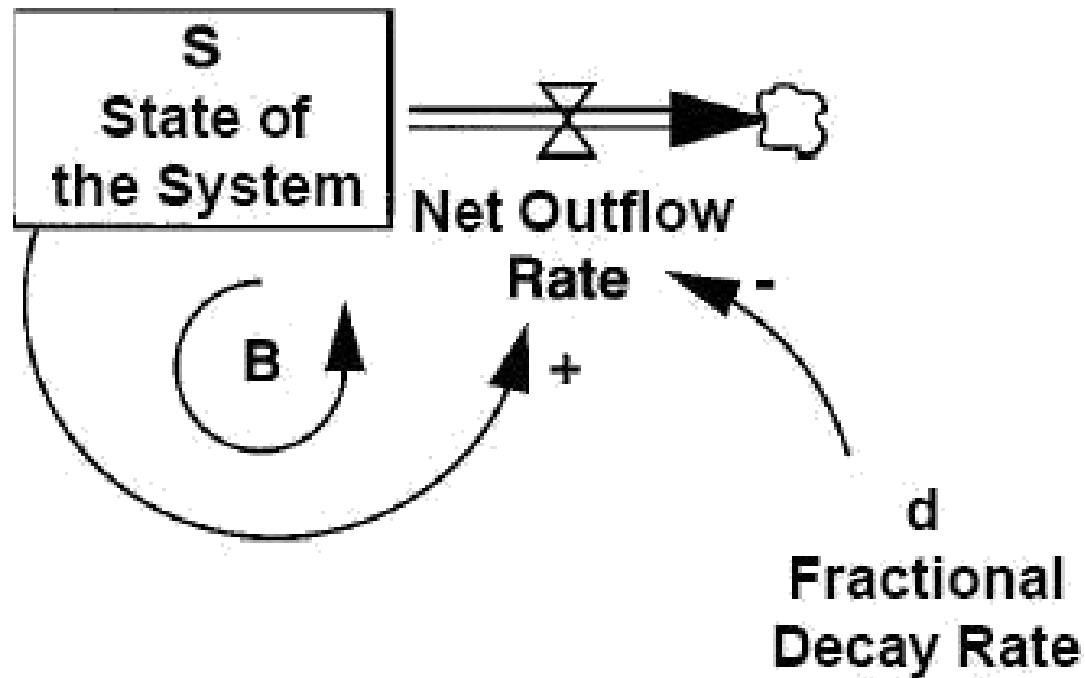
✓ سیستمهای نوع اول با بازخورد منفی، رفتار هدفگرا را تولید می کنند.

✓ هنگامی که این نوع سیستمها **خطی** باشند، رفتار آن به صورت کاهش نمایی مطلق خواهد بود.

✓ برای مثال می توان نرخ مرگ و یا کاهش ارزش دارایی ها را در این دسته قرار دهیم.

بازخورد منفی و کاهش نمایشی

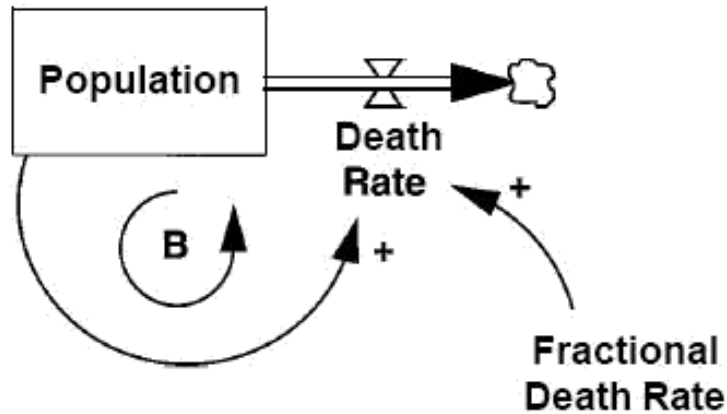
ساختار کلی سیستم بازخورد منفی خطی نوع اول



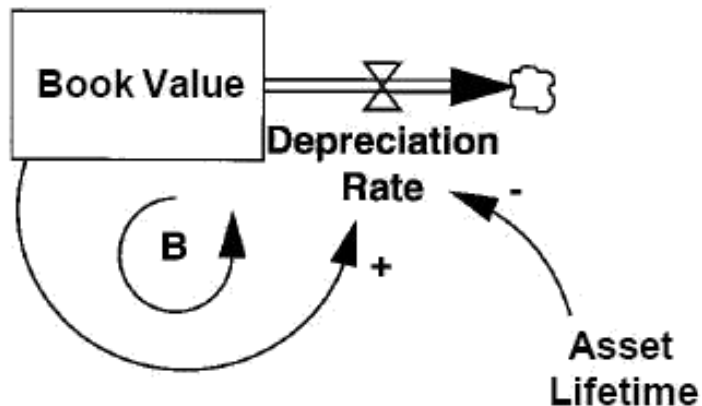
$$-dS = \text{نرخ خروجی خالص} - \text{نرخ ورودی خالص}$$

بازخورد منفی و کاهش نمایی

مثال



جمعیت \times نرخ مرگ نسبی = نرخ مرگ



ارزش زمانی / ارزش دفتری = نرخ کاهش

بازخورد منفی و کاهش نمایی

در سیستمهای نوع اول خطی با بازخورد منفی، خروجی خالص با اندازه انباشت متناسب است :

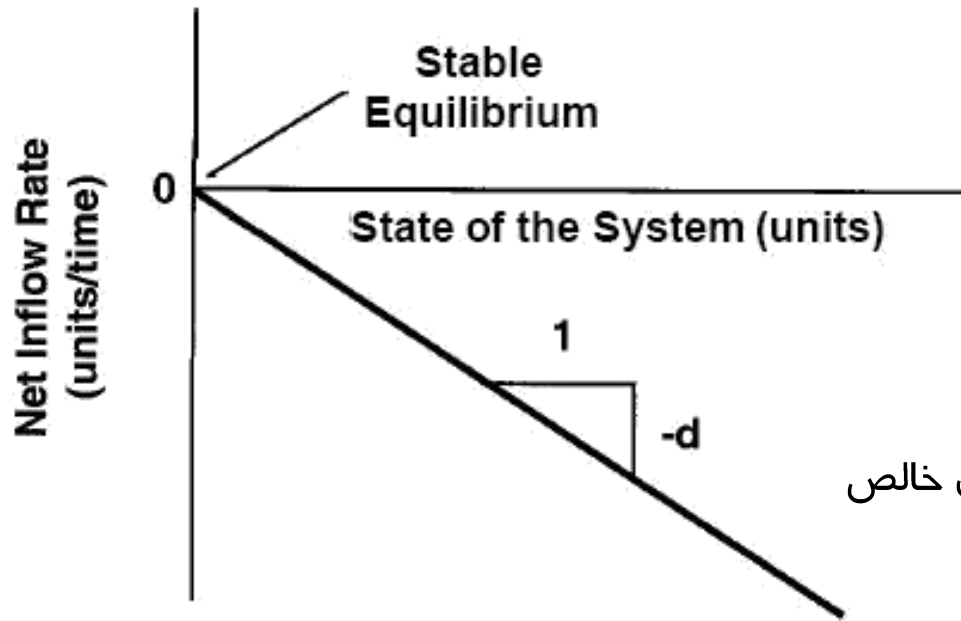
$$-dS = \text{نرخ خروجی خالص} - \text{نرخ ورودی خالص}$$

که این رابطه همانند رابطه $gS = \text{ورودی خالص}$ است با این تفاوت که نرخ کاهش نسبی با علامت منفی جایگزین نرخ افزایش خالص نسبی شده است.

بنا بر این حل آن همان حل توابع نمایی با جایگزین کردن $-d$ بجای g است.

$$S(t) = s(0) \exp(-dt)$$

بازخورد منفی و کاهش نمایی



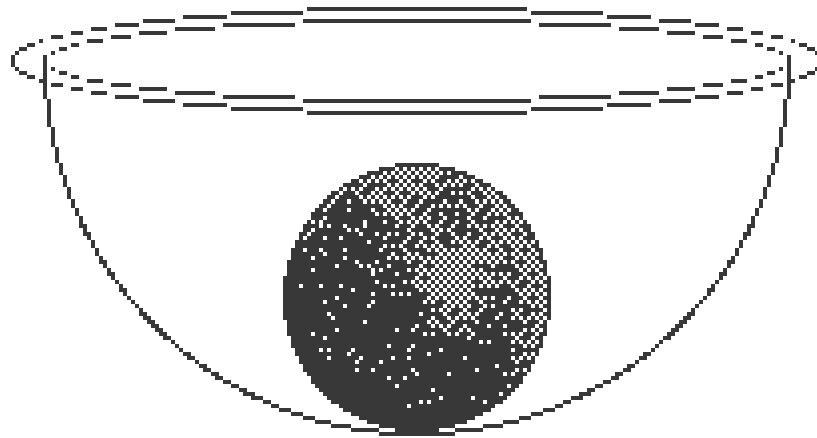
$$-dS = \text{نرخ خروجی خالص} - \text{نرخ ورودی خالص}$$

✓ نمودار یک خط مستقیم است که با شیب $-d$ از مبدأ شروع می شود.

✓ در مبدأ سیستم دارای یک تعادل پایدار است. افزایش در وضعیت سیستم باعث افزایش نرخ کاهش می شود و در نتیجه سیستم را به سمت صفر سوق می دهد.

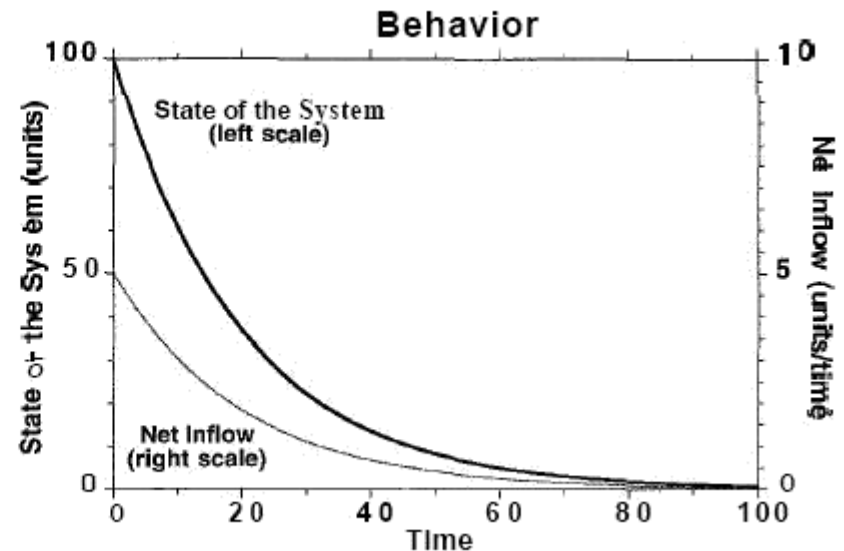
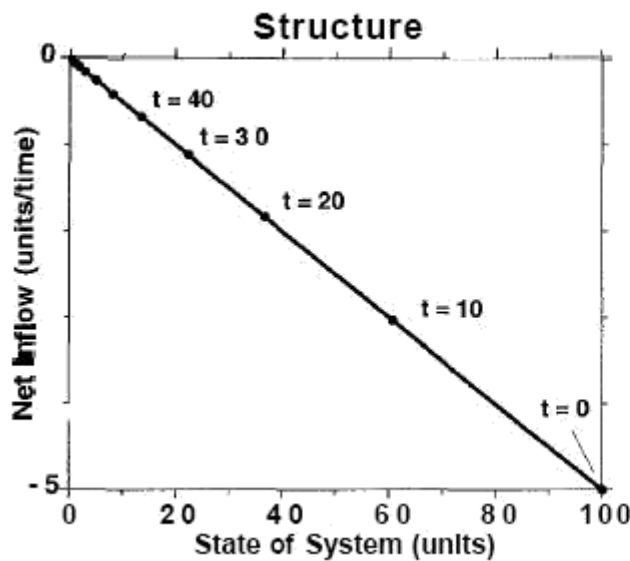
بازخورد منفی و کاهش نمایی

✓ سیستمی که دارای یک تعادل پایدار باشد همانند گویی است که در ته کاسه ای قرار دارد. هر گاه تعادل آن را به هم بزنیم دوباره به سمت نقطه تعادل شروع به حرکت می کند و در همان جا متوقف می شود.



بازخورد منفی و کاهش نمایی

مثال : کاهش نمایی - ساختار و رفتار



✓ کاهش نمایی با نرخ کسری کاهش 0.5٪ در هر واحد زمان با وضعیت اولیه 100 واحد.

✓ نرخ کاهش در ابتدا 5- واحد در هر دوره زمانی است و این نرخ کاملاً با مقدار انباشت متناسب است.

✓ نقاط روی نمودار فازی وضعیت سیستم را پس از 10 دوره زمانی نشان می دهد.

بازخورد منفی و کاهش نمایی

✓ در کل هدف تمام حلقه های منفی رسیدن به هدف **صفر** نیست. پس باید بتوان حلقه هایی با هدف **غیر صفر** تشکیل داد.

✓ در موارد کلی برای اصلاح این اشکال می توان توابعی (خطی یا غیر خطی) از وضعیت سیستم (S) و وضعیت مطلوب سیستم (S^*) تشکیل داد.

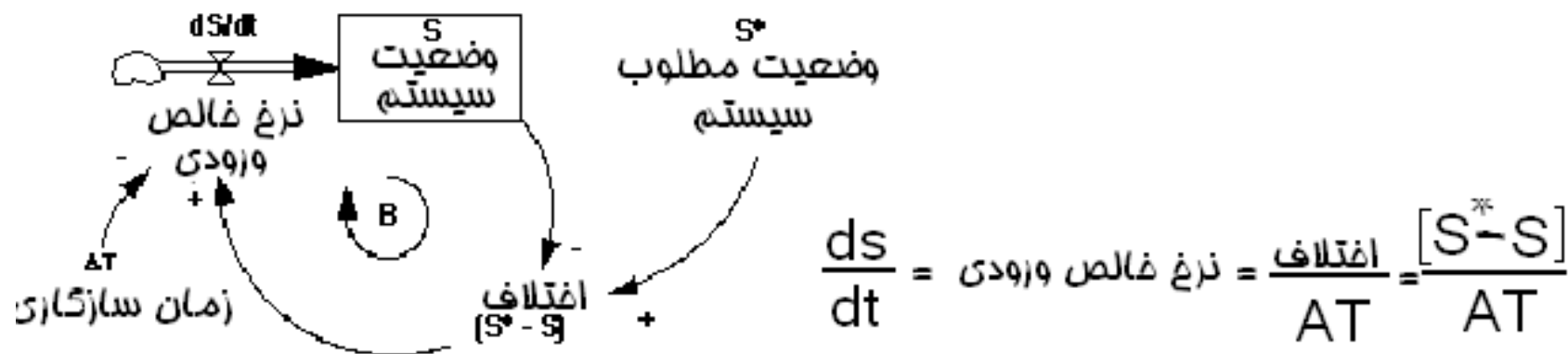
✓ ساده ترین فرمول برای این اقدام اصلاحی، اختلاف بین وضعیت مطلوب و وضعیت واقعی سیستم در هر دوره زمانی است.

$$\text{جریان خالص} = f(S, S^*) = (S^* - S) / AT$$

$$AT = \text{زمان تعدیل}$$

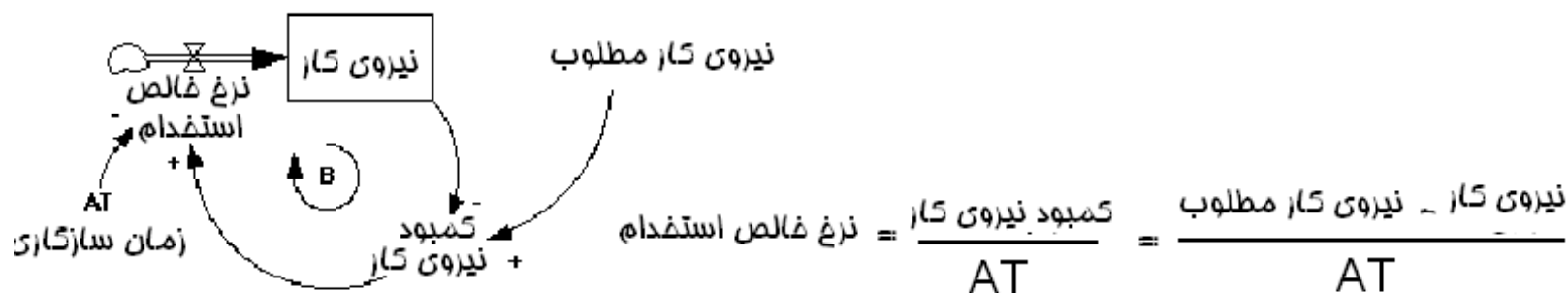
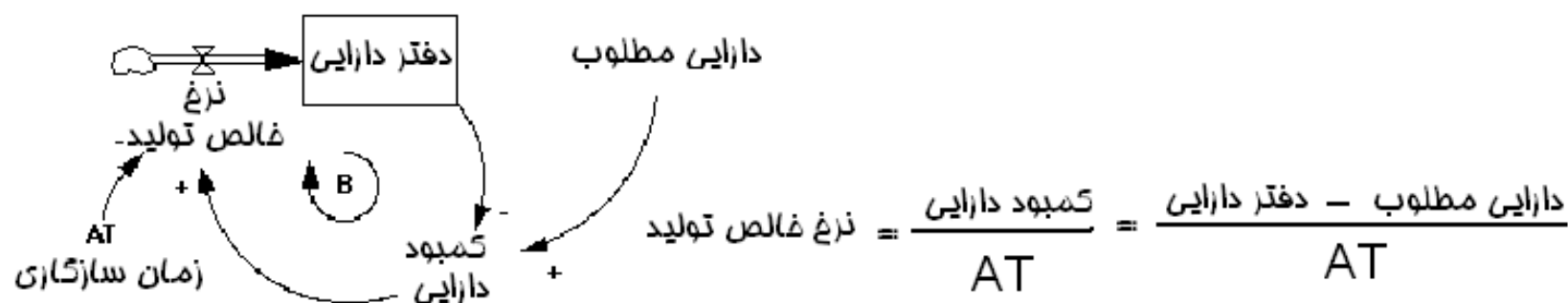
بازخورد منفی و کاهش نمایی

ساختار کلی حلقه های هدف گرا



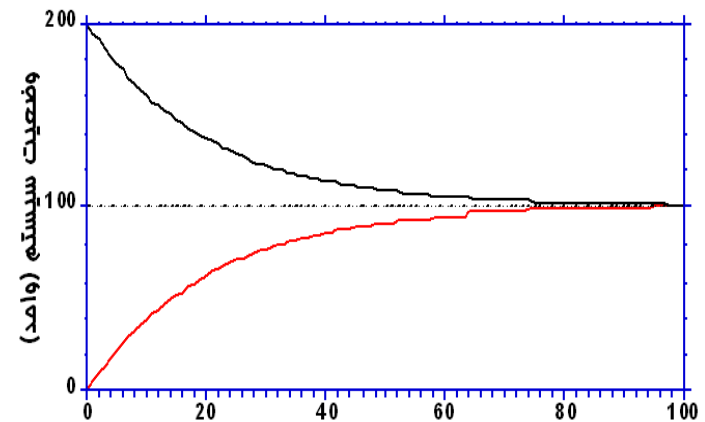
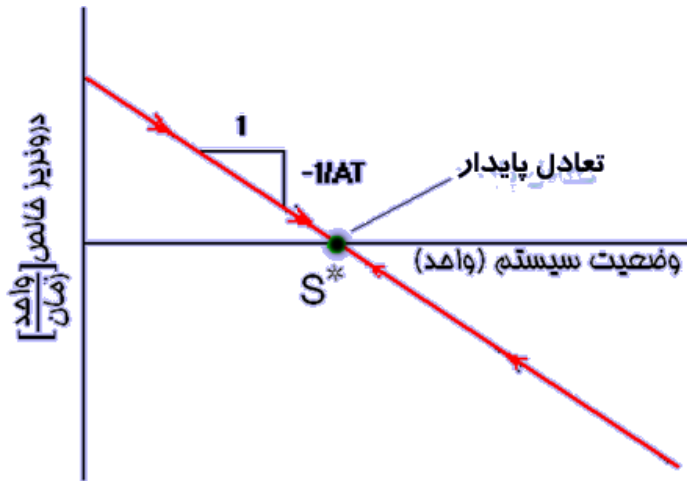
بازخورد منفی و کاهش نمایی

مثال



بازخورد منفی و کاهش نمایی

نمودار فازی و رفتار سیستمی برای حلقه های هدفگرا



✓ اگر $S < S^*$ باشد آنگاه جریان خالص، مثبت و وضعیت سیستم تا نقطه تعادل با نرخ کاهنده، افزایش می یابد.

✓ اگر $S = S^*$ باشد آنگاه در نقطه تعادل پایدار هستیم.

✓ اگر $S > S^*$ باشد آنگاه جریان خالص، منفی و وضعیت سیستم تا نقطه تعادل با نرخ کاهنده، کاهش می یابد.

ثابتهای زمانی و نیمه عمرها

✓ همانند روند دو برابر شدن وضعیت سیستم در دوره های ثابت زمانی، در کاهش نمایی سیستم نیمی از مقدار وضعیت خود را در دوره های ثابت زمانی از دست می دهد.

✓ با حل معادله $f(S, S^*) = (S^* - S) / AT$ = جریان خالص رابطه زیر بدست می آید:

$$S(t) = S^* - (S^* - S(0)) \exp\left(\frac{-t}{AT}\right)$$

$(S^* - S(0))$ = فاصله ابتدایی بین وضعیت مطلوب و وضعیت واقعی سیستم

= فاصله فعلی باقیمانده بین وضعیتهای مطلوب و واقعی $(S^* - S(0)) \exp\left(\frac{-t}{AT}\right)$

ثابتهای زمانی و نیمه عمرها

✓ **نیمه عمر** : زمانی است که مقدار خالص جریان به نصف مقدار اولیه سیستم $(S(0))$ برسد.

$$0.5 = \exp\left(\frac{-t_h}{AT}\right) = \exp(-dt)$$

با حل کردن برای t_h خواهیم داشت :

$$t_h = AT \ln(2) = \frac{\ln(2)}{d} \approx 0.70At \approx \frac{70}{100d}$$

که شبیه همان قانون 70 برای رشد نمایی است. (نیمه عمر بوسیله 70٪ زمان تعدیل بدست می آید.)

سیستم‌های حلقه چندگانه

✓ در این بخش می‌خواهیم تاثیر همزمان بازخورد مثبت و منفی بر روی رفتار سیستم را بررسی کنیم.

✓ بررسی رفتار یک سیستم چندگانه نوع اول : (بررسی یک جمعیت)

$P(0)$ ، نرخ تولد خالص) انتگرال = جمعیت

$BR - DR =$ نرخ تولد خالص

$BR =$ نرخ تولد و $DR =$ نرخ مرگ

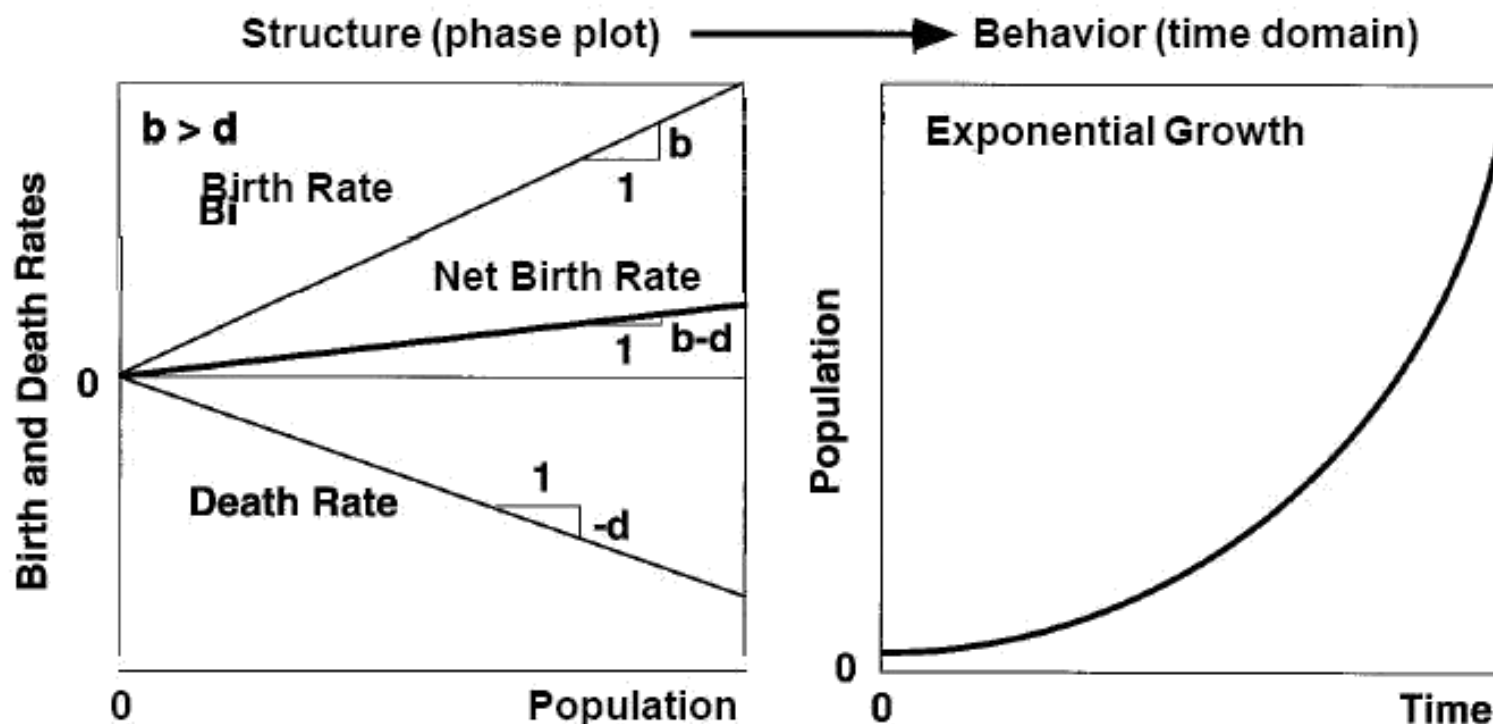
حال حالت خطی را در نظر می‌گیریم :

$b =$ نرخ تولد نسبی

$d =$ نرخ مرگ نسبی

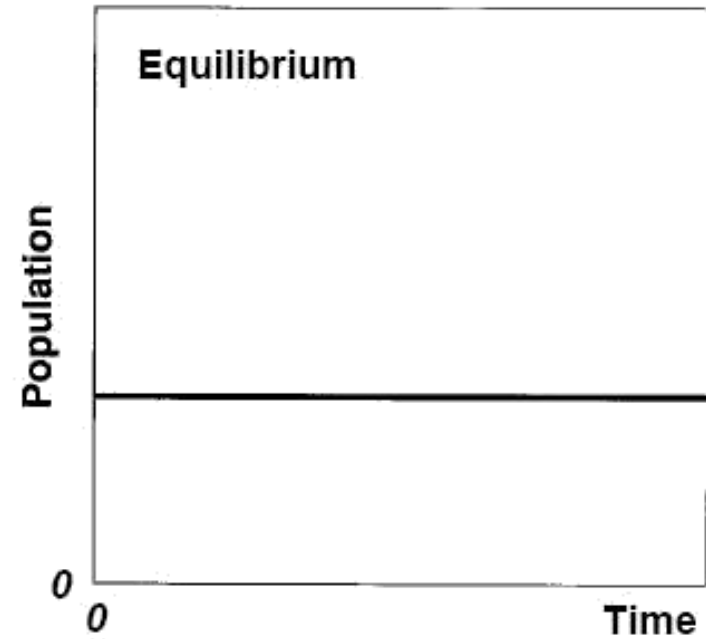
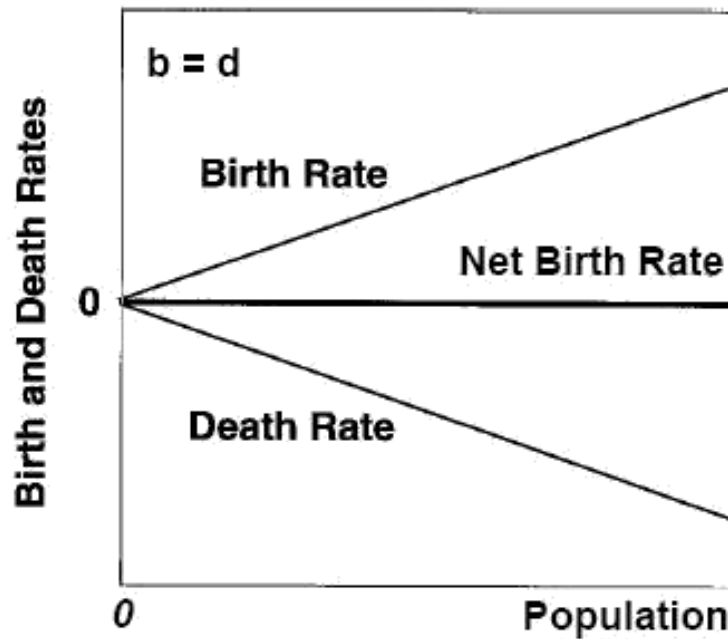
$bP - dP = (b - d)P =$ نرخ تولد خالص

سیستم‌های حلقه چندگانه



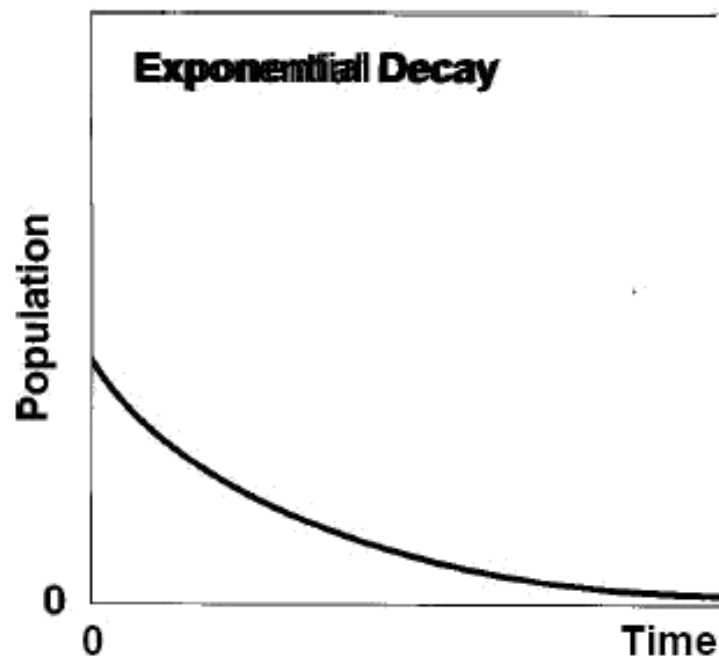
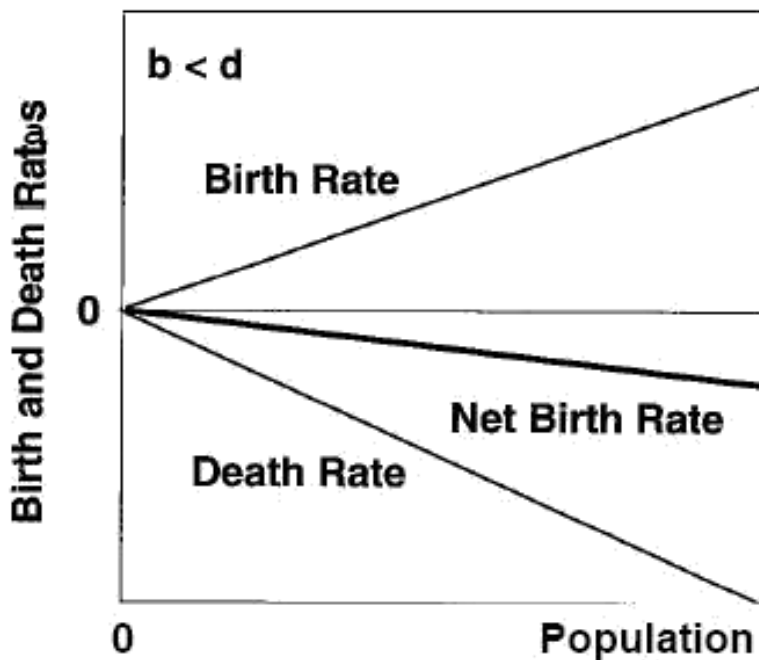
✓ اگر محیط دارای منابع فراوان باشد، تولد از مرگ بیشتر خواهد شد ($b > d$) و بنابراین جمعیت به صورت نمایی رشد می کند.

سیستم‌های حلقه چندگانه



✓ اگر مرگ و تولد دقیقاً با هم برابر باشند ($b=d$) آنگاه جمعیت در تعادل است.

سیستمهای حلقه چندگانه



✓ اگر محیط به گونه ای باشد که مرگ از تولد بیشتر باشد ($b < d$) آنگاه جمعیت به صورت نمایی به صفر کاهش می یابد.

سیستم‌های حلقه چندگانه

✓ چون سیستم خطی است (b و d ثابت هستند) تسلط دو حلقه هیچگاه تغییر نمی‌کند (مثلاً جمعیت یا رشد می‌کند، یا ثابت می‌ماند و یا انقراض پیدا می‌کند)

✓ در دنیای واقعی، سیستمها از خطی بودن فاصله دارند. (مثلاً جمعیت با منابع فراوان، ابتدا رشد می‌کند سپس ثابت می‌شود و یا نوسان می‌کند)

✓ درک پویایی‌های سیستمهای واقعی، نیازمند مدل‌های غیر خطی است.

سیستمهای نوع اول غیر خطی: رشد S شکل

✓ یک کمیت حقیقی نمی تواند برای همیشه رشد کند. زیرا ظرفیتهای محیط بر آن تاثیر می گذارد.

✓ هنگامی که سیستم به محدودیتهایش برای رشد می رسد، یک تغییر غیر خطی که بازخورد منفی را بر بازخورد مثبت مسلط می کند رخ می دهد که نتیجه آن، یک تغییر ملایم از رشد نمایی به تعادل می باشد. (رشد S شکل)

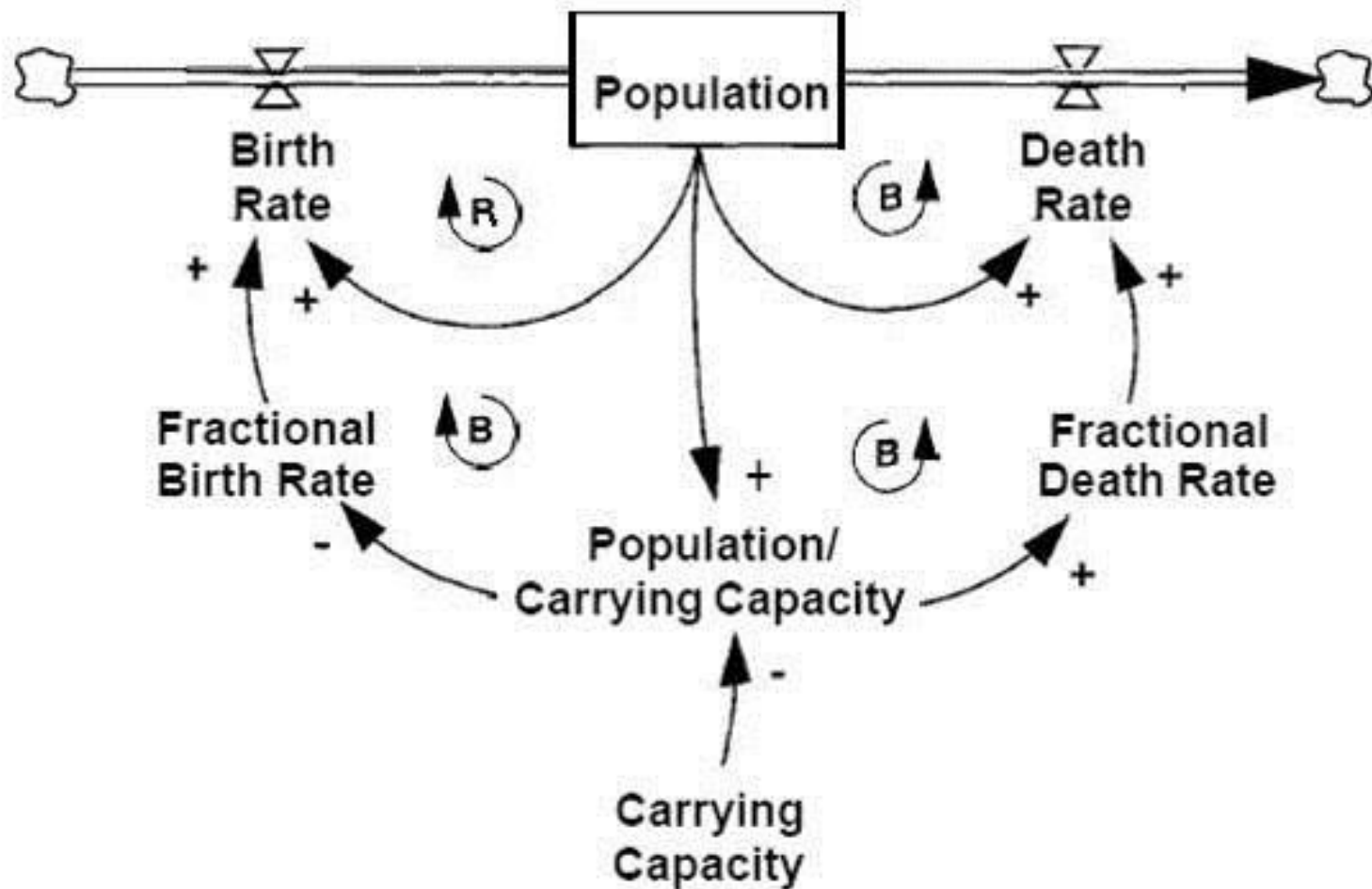
✓ در سیستمهای واقعی (غیر خطی) نرخ تولد نسبی و مرگ نسبی نمی توانند ثابت باشند و هنگامی که جمعیت به ظرفیت خود می رسد، تغییر پیدا می کنند. پس:

$$\text{نرخ تولد خالص} = BR - DR = b(P/C)P - d(P/C)P$$

b و d تابعهایی از نسبت جمعیت (P) به ظرفیت (C) می باشند.

سیستم‌های نوع اول غیر خطی: رشد S شکل

نمودار جریان برای رشد جمعیت در یک محیط معین



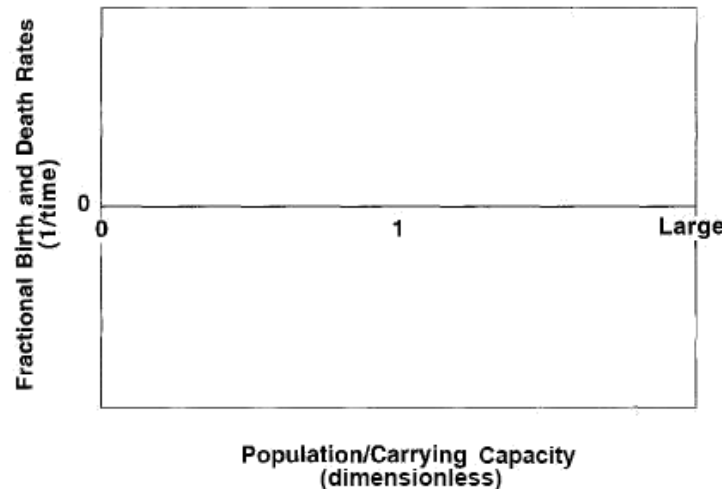
سیستم‌های نوع اول غیر خطی: رشد S شکل

چالش : نرخهای تولد و مرگ غیر خطی

✓ نموداری را بکشید که شکل احتمالی نرخهای تولد و مرگ نسبی را برای جمعیتی که به ظرفیت خود می‌رسد، نشان دهد.

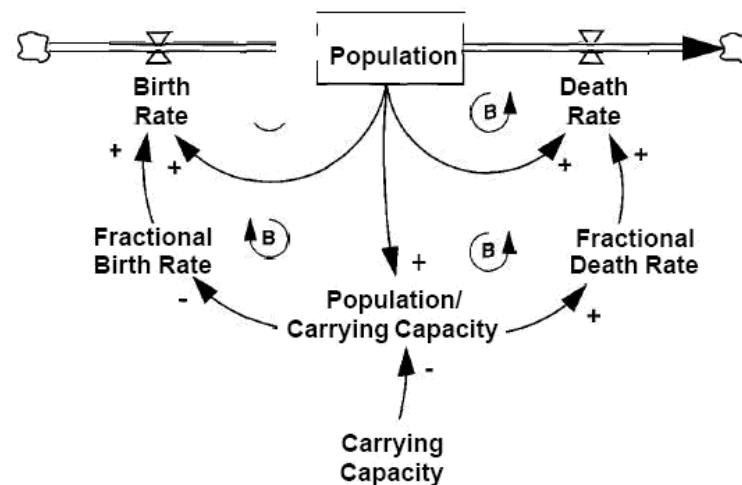
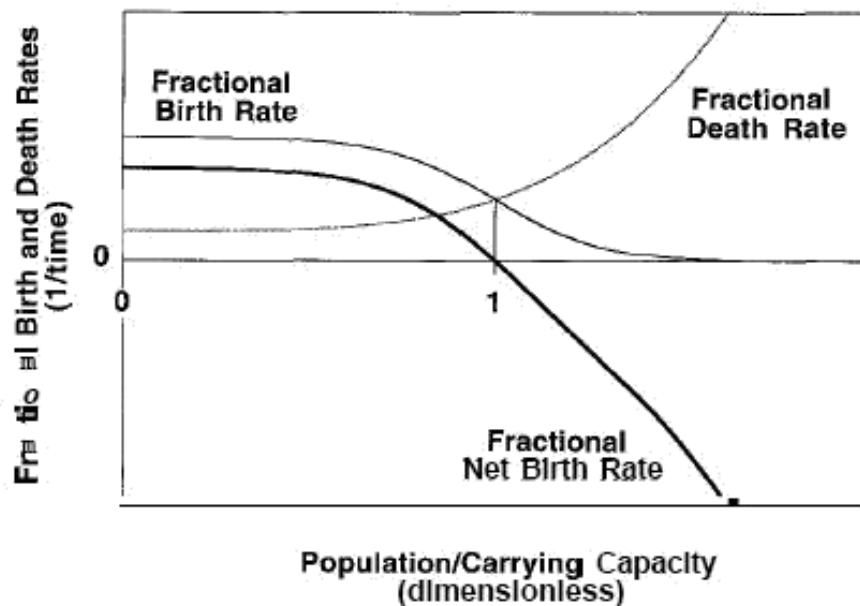
✓ حداکثر شرایط را برای برآوردهایتان در نظر بگیرید (یعنی اینکه برای جمعیت‌های خیلی کم یا خیلی زیاد، نرخهای تولد و مرگ نسبی چگونه خواهند بود؟

✓ نرخ تولد خالص نسبی را رسم کنید (اختلاف بین نرخهای تولد و مرگ نسبی)



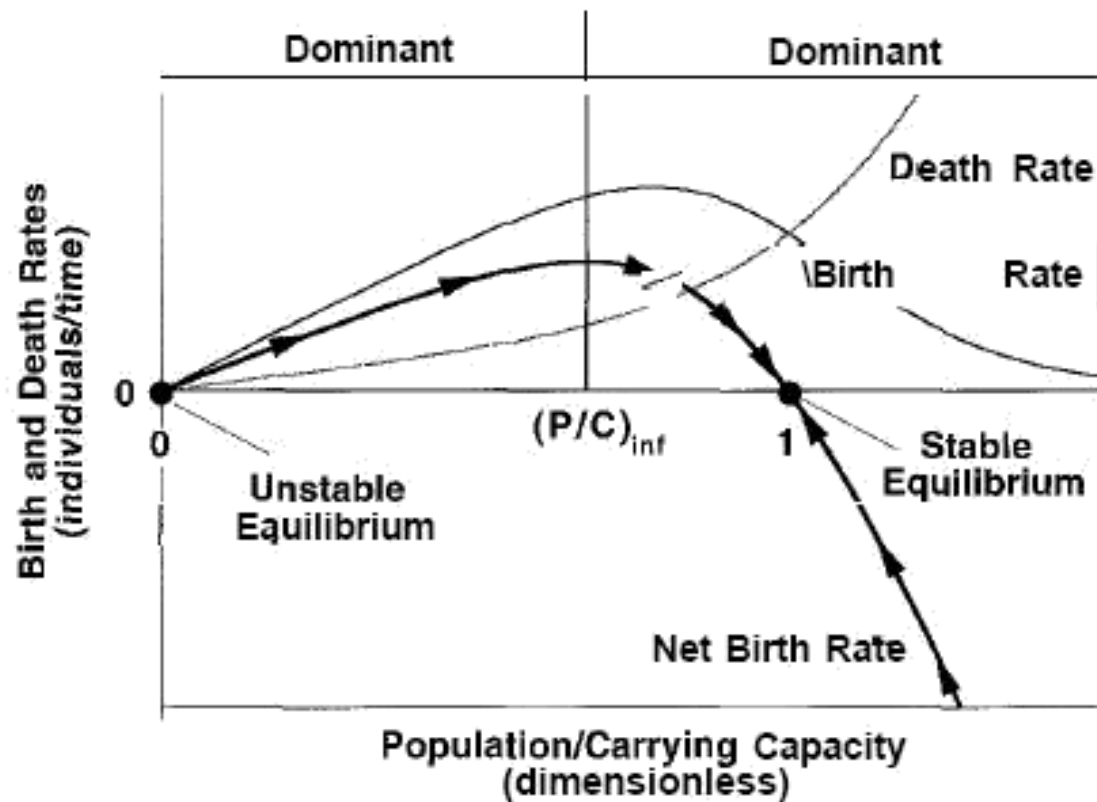
سیستم‌های نوع اول غیر خطی: رشد

پاسخ چالش



سیستم‌های نوع اول غیر خطی: رشد S شکل

پاسخ چالش



سیستم‌های نوع اول غیر خطی: رشد S شکل

پاسخ چالش

